



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS EN ZONAS
RURALES DE LA IV, VI Y RM DE CHILE Y PROPOSICIÓN DE UN SISTEMA
SUSTENTABLE PARA SU TRATAMIENTO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PIA MACARENA RODRÍGUEZ ALBORNOZ

PROFESOR GUÍA:

GABRIELA CASTILLO MORALES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

SOLEDAD PÉREZ GUZMÁN

GUILLERMO RUIZ TRONCOSO

SANTIAGO-CHILE

JULIO 2011

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: PIA MACARENA RODRIGUEZ
ALBORNOZ
FECHA: 11/07/2011
PROF. GUÍA: GABRIELA CASTILLO
MORALES**

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS EN ZONAS RURALES DE LA IV,
VI Y RM DE CHILE Y PROPOSICIÓN DE UN SISTEMA SUSTENTABLE PARA SU
TRATAMIENTO**

El objetivo principal de este trabajo es realizar una evaluación de algunas plantas de tratamiento de aguas servidas de los sectores rurales concentrados de las regiones IV, VI y RM con el fin de catastrar la situación actual del saneamiento rural en cuanto a cobertura, tipo de tratamiento y estado de las plantas. Se espera además, a partir de lo obtenido, proponer a nivel de factibilidad uno o más sistemas de tratamiento que resulten viables desde el punto de vista económico, ambiental y social.

En la actualidad el país no cuenta con una normativa que respalde el saneamiento rural ya que la institucionalidad existente solamente aplica al agua potable rural, dejando la inversión en manos de múltiples entidades del Estado y la administración en Municipalidades, Comités y Cooperativas. Además, se ha incentivado el uso de sistemas de tratamiento de alto costo tanto en inversión como en operación y mantención, alejándose cada vez más de la tendencia internacional de incentivar el uso de sistemas de tratamiento sustentables.

Para la evaluación de los sistemas, se visitaron plantas de tratamiento de las tres regiones mencionadas y se entrevistó a operadores de las plantas y dirigentes de los Comités y Cooperativas. Con los antecedentes recopilados se realizó un análisis de todo lo observado en cuanto al funcionamiento de las diferentes tecnologías, situación económica de ellas y la realidad entre las regiones.

Los resultados arrojaron que en las tres regiones el estado general de las plantas es regular, siendo aquéllas en buen estado una excepción respecto del total. El sistema más utilizado corresponde al de Lodos Activados modalidad Aireación Extendida, que presenta altos costos en su operación y mantenimiento, por lo que en la totalidad de las plantas las tarifas son mucho menores a lo que se debiera cobrar para hacer de ellos sistemas económicamente autosustentables. En relación a los operadores, salvo en el caso que las plantas son monitoreadas por las empresas proveedoras, no poseen la competencia necesaria debido a la falta de preparación hacia ellos. Debido a todo lo anterior es que se vuelve indispensable una normativa que junto a una entidad gubernamental con competencia atienda y resuelva las necesidades del saneamiento rural.

Respecto a la propuesta de alternativas de tratamiento, tanto de lo visto a nivel nacional como internacional se seleccionaron las tres opciones que a priori resultan más interesantes de implementar, las que posteriormente se evaluaron bajo los cinco criterios de sustentabilidad recomendados por la Sustainable Sanitation Alliance (2007), entidad conformada por variadas organizaciones y que tiene como fin común el saneamiento sustentable. De acuerdo a esto, se obtuvo que la mejor alternativa es el lombrifiltro, ya que se muestra como fuerte en 4 de los 5 aspectos evaluados y posee mayores antecedentes de cumplimiento de la normativa respecto al humedal y la unidad sanitaria seca. Sin embargo, estas dos alternativas resultan de igual forma viables de implementar ya que no mostraron puntos débiles en el análisis.

Agradecimientos

Después de muchos años, más de los que a mi padre le hubiese gustado, termino esta etapa de universitaria, la cual me permitió conocer grandes personas y me ayudó a encontrar el camino profesional que forjaré de aquí en adelante. En primer lugar les quiero agradecer a ustedes papás, por estar tan presentes en cada momento de mi vida, por ser mis mejores consejeros y por todo lo que me han entregado, a la Cony, mi gorda, por ayudarme a creer en mí cada vez que me fue mal en alguna prueba, por estar siempre ahí para escucharme y al Nico, por permitirme volver a ser niña y disfrutar de las tonteras de la vida.

Cómo no agradecer a todas las personas que conocí durante mi vida universitaria, todos con los que compartí carretes, maratones de estudio, conversaciones profundas y otras no tanto y que estuvieron conmigo dándome apoyo cuando quería mandar lejos esta memoria. En especial gracias Pausita, Caro J, Nata, Claussita, Carito, Carlos, Javi, Sally, Titi, Pau, Angelo, Jose, Gisela, Guatón, Matías y a todos mis compañeros del 3° piso. Mención aparte para 3 personas que han sido mis pilares y parte importantísima de mi vida en el último tiempo: Luci, qué haría sin ti amiga!, Maxito, mi mejor amigo y consejero, Manuel, mi partner de estudio y de vida.

Gracias Leandro; a pesar de los kilómetros que nos separan siempre estuviste pendiente de mi memoria, gracias por tu preocupación, tu paciencia para entender mis rabietas y por tener las palabras precisas para cada uno de esos momentos.

A mis amigos del Colegio, Simón, Nacha y Dani, por esa amistad que sólo logran los años de experiencias juntos y por el constante apoyo que siempre me han dado.

A MAS Ingeniería, Humberto, Mariana y Mirna, gracias por mostrarme el lado más humano de una empresa y por entenderme cuando tuve de que irme.

Profe Gabriela, le agradezco enormemente por toda la ayuda brindada en la realización de mi memoria, por los contactos realizados, por sus consejos de vida y por todo lo que he aprendido con usted durante estos 3 años. A la gente del laboratorio de Calidad de Aguas, Vivi, Eduardo, Germán y Sra. Paty, por recibirme con una sonrisa las infinitas veces que estuve ahí. A la Marcela, por sus palabras de ánimo en esas noches de trabajo en la U.

Esta memoria no hubiese sido posible sin la ayuda de las siguientes personas, quienes me brindaron valiosa información.. Mis agradecimientos a: María Luisa Esparza (OPS), Mirtha Meléndez (DOH IV región), Eduardo Alarcón y Mauricio Sandoval (ESSBIO), Marta Sepúlveda y mi profesora co-guía Soledad Pérez (SISS), don Guillermo Ruiz, mi profesor integrante.

Finalmente, un especial agradecimiento a todos los dirigentes y operadores de los Comités y Cooperativas visitados, por la calidez con la que me recibieron y por permitirme conocer una realidad tan invisible a los ojos de muchos pero que requiere urgentemente de una solución.

Contenido

GLOSARIO DE TÉRMINOS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	2
2.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.1. Alternativas de tratamiento	3
2.1.1.1. Alternativas de pretratamiento	4
2.1.1.2. Tratamientos secundarios.....	13
2.1.1.2.1. Humedales.....	13
2.1.1.2.2. Sistemas de filtro.....	18
Materiales utilizados como medio filtrante.....	19
2.2. Antecedentes nacionales	19
2.2.1. Programa Nacional de Agua Potable Rural y situación actual.....	19
2.2.2. Situación del saneamiento rural	20
2.2.2.1. Lodos Activados.....	22
2.2.2.2. Lagunas aireadas	24
2.2.2.3. Fosa séptica	25
2.2.2.4. Biodiscos	25
2.2.2.5. Lombricultura o Lombrifiltro.....	26
2.2.3. Lodos generados.....	27
2.2.4. Marco regulatorio.....	28
2.2.5. Análisis económico de proyectos y tarifas asociadas al tratamiento de aguas servidas	31
2.2.6. Problemas actuales del Saneamiento Rural en Chile	35
2.2.7. Proyecto de Ley de Agua Potable Rural	35
3. TRABAJO EN TERRENO	36
3.1. Situación de las regiones en estudio.....	36
3.2. Diagnóstico de las plantas de tratamiento seleccionadas	41

3.2.1.	IV región de Coquimbo.....	42
3.2.1.1.	APR Punta Azul	42
3.2.1.2.	APR Gualiguaica.....	45
3.2.1.3.	APR Totoralillo	48
3.2.1.4.	APR Caleta de Hornos	49
3.2.1.5.	APR El Esfuerzo	51
3.2.2.	Región Metropolitana.....	54
3.2.2.1.	APR Santa Marta de Liray	54
3.2.2.2.	APR Gacitúa.....	55
3.2.2.3.	APR Chorombo	56
3.2.2.4.	APR María Pinto	59
3.2.3.	VI región Libertador Bernardo O'Higgins	62
3.2.3.1.	APR Larmahue	62
3.2.3.2.	APR Patagua Cerro	65
3.2.3.3.	APR Punta de Cortés.....	67
3.2.3.4.	APR La Estrella.....	69
3.2.3.5.	APR Pelequén Viejo Portezuelo.....	72
3.2.4.	V región de Valparaíso.....	74
3.2.4.1.	Planta de tratamiento El Melón.....	74
4.	DISCUSIÓN	78
4.1.	Análisis crítico de las plantas visitadas	78
4.1.1.	Funcionamiento y operación de las diferentes tecnologías	78
4.1.2.	Cumplimiento de la normativa pertinente: DS N°90, DS N°46 y NCh 1.333/78	83
4.1.3.	Situación de los lodos generados en las plantas de tratamiento	86
4.2.	Análisis económico	87
4.3.	Análisis entre las regiones estudiadas	93
4.4.	Comentarios finales.....	94
5.	PROPUESTA DE ALTERNATIVA.....	95

5.1.	Criterio de comparación de alternativas	95
5.2.	Fundamento de las elecciones	96
5.3.	Parámetros de diseño.....	97
5.3.1.	Tanque Imhoff más humedal artificial	97
5.3.2.	Lombrifiltro.....	99
5.4.	Sistema de recolección de las aguas servidas.....	99
5.5.	Evaluación según criterios de sustentabilidad del saneamiento	100
5.5.1.	Salud e higiene	100
5.5.2.	Medio ambiente y recursos naturales	101
5.5.3.	Tecnología y Mantenimiento.....	102
5.5.4.	Financiamiento y Economía.....	102
5.5.5.	Aspectos socioculturales e institucionales	105
5.6.	Comparación entre alternativas	106
	Comentarios finales.....	107
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	110
	ANEXOS.....	I
	Anexo A: Figuras y Tablas Antecedentes Generales	II
	Anexo B: Instructivo para el Análisis de Proyectos de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en sector Rural.....	IV
	Anexo C: Fotografías plantas de tratamiento visitadas	VII
	Anexo D: Actas Sanitarias e Informes Análisis bacteriológicos.....	XV
	Anexo E: Detalles análisis económico	XXV

I. INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Eficiencias de remoción Fosa Séptica.....	5
Tabla 2.2: Eficiencias de remoción Tanques Imhoff	7
Tabla 2.3: Eficiencia remoción UASB.....	8
Tabla 2.4: Eficiencias de remoción USBR.....	10
Tabla 2.5: Eficiencias de remoción humedal artificial.....	15
Tabla 2.6: Eficiencia del uso de humedales de Jacinta como tratamiento de aguas servidas en Nigeria	17
Tabla 2.7: Características de los medios para humedales de flujo subsuperficial.....	18
Tabla 2.8: Eficiencias de remoción filtros.....	19
Tabla 2.9: Eficiencias de remoción Lodos Activados Aireación Extendida	24
Tabla 2.10: Eficiencias remoción Lagunas Aireadas multicelulares.....	25
Tabla 2.11: Eficiencias remoción Biodiscos	25
Tabla 2.12: Eficiencias de remoción Lombrifiltro	26
Tabla 2.13: Producción de lodos según tipo de tratamiento	27
Tabla 2.14: Modificaciones en tabla 1 DS 90	28
Tabla 2.15: Características Lodos Clases A y B	29
Tabla 2.16: Cálculo Tarifa Mínima Mensual por m ³ en Lodos Activados	33
Tabla 2.17: Resumen de disposición a pagar para ambos escenarios.....	34
Tabla 3.1: plantas de tratamientos de aguas servidas asociadas a APR's por región	38
Tabla 3.2: Tecnologías implementadas en las regiones de estudio	38
Tabla 3.3: Densidad poblacional rural por región.....	39
Tabla 3.4: Número de plantas por rango de habitantes	39
Tabla 3.5: Muestreo fisicoquímico y bacteriológico afluente y efluente planta Patagua Cerro	66
Tabla 3.6: Resumen visitas plantas de tratamiento de aguas servidas	77
Tabla 4.1: Valores de cloro residual en plantas de Patagua Cerro y El Esfuerzo	80
Tabla 4.2: Remoción de parámetros de interés del tratamiento de LA en planta de Patagua Cerro	81
Tabla 4.3: Comparación efluente Patagua Cerro con DS N°90	85
Tabla 4.4: Disposición final de los lodos en las plantas de tratamiento visitadas	86
Tabla 4.5: Costos de inversión para alternativas de tratamiento estudiadas.....	88
Tabla 4.6: Tabla Resumen Costos de Inversión, Operación, Mantenimiento y Valor Actual Neto	90
Tabla 4.7: Tarifa Mínima por UD y m ³ de agua tratada para plantas El Esfuerzo y Gualliguaica	90
Tabla 4.8: Resultados Tarifa Mínima Gualliguaica considerando aumento costo energía	91
Tabla 4.9: Resumen del estado de plantas visitadas	93
Tabla 5.1: Características afluente	97

Tabla 5.2: Dimensiones compartimientos tanque Imhoff	97
Tabla 5.3: Dimensiones unidad Cancha de Secado.....	97
Tabla 5.4: Parámetros de diseño humedal de flujo subsuperficial	98
Tabla 5.5: Dimensiones humedal subsuperficial.....	98
Tabla 5.6: Dimensiones Lombrifiltro.....	99
Tabla 5.7: Valor sistema de recolección alcantarillado tradicional población de 1.000 habitantes	99
Tabla 5.8: Valor sistema de recolección de alcantarillado pequeño diámetro población de 1.000 habitantes	100
Tabla 5.9: Valores anuales de mantención.....	100
Tabla 5.10: Resumen CAE alternativas de humedal, lombrifiltro y unidad sanitaria seca	103
Tabla 5.11: Resumen CAE considerando costos de alcantarillado tradicional	104
Tabla 5.12: Resumen CAE considerando costos de alcantarillado pequeño diámetro	104
Tabla 5.13: Valores tarifa mínima para alternativas de humedal y lombrifiltro	104
Tabla 5.14: Evaluación alternativas mediante criterios de sustentabilidad	106

II. INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de factores que determinan tecnología más apropiada.....	2
Figura 2.2: Diseño fosa séptica	5
Figura 2.3: Diseño Tanque Ihmoff.....	6
Figura 2.4: Representación esquemática del reactor tipo UASB.....	8
Figura 2.5: Esquema tanque séptico modificado (USBR)	10
Figura 2.6: Taza separadora de orina	11
Figura 2.7: Sistema de humedal con superficie libre	14
Figura 2.8: Sistema de humedal de flujo subsuperficial	14
Figura 2.9: Distribución de población rural con APR según existencia de recolección y tratamiento de aguas servidas	20
Figura 2.10: División porcentual actual de tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas servidas en zonas rurales. Año 2010.....	21
Figura 2.11: División porcentual de tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas servidas en zonas rurales. Año 2003.....	22
Figura 2.12: Procesos sistema de lodos activados aireación extendida	23
Figura 3.1: Localización de las regiones estudiadas.....	37
Figura 3.2: Distribución tipo de tecnología para rangos de habitantes	40
Figura 3.3: Ubicación de APR's visitados en la Región de Coquimbo.....	42
Figura 3.4: Vista general planta de tratamiento de Punta Azul	43
Figura 3.5: Vista general planta de tratamiento Gualliguaica.....	46
Figura 3.6: Vista general planta de tratamiento Caleta de Hornos	49
Figura 3.7: Vista general Planta de tratamiento El Esfuerzo	51
Figura 3.8: Ubicación APR's visitados Región Metropolitana.....	54
Figura 3.9: Vista General Galpón pretratamiento y deshidratado lodos	57
Figura 3.10: Vista general reactor y cloración planta de tratamiento Chorombo.....	57
Figura 3.11: Vista biodiscos planta de tratamiento María Pinto.....	59
Figura 3.12: Ubicación APR's región de O'Higgins	62
Figura 3.13: Vista general planta de tratamiento Larmahue	63
Figura 3.14: Vista general planta de tratamiento Patagua Cerro	65
Figura 3.15: Vista general planta de tratamiento Punta de Cortés	68
Figura 3.16: Vista general planta de tratamiento La Estrella.....	70
Figura 3.17: Vista general planta de tratamiento Pelequén Viejo Portezuelo	72
Figura 3.18: Vista general lombrifiltro El Melón	74
Figura 4.1: Costo de Inversión en PTAS en función del número de habitantes	89

GLOSARIO DE TÉRMINOS

PTAS: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

LAAE: Lodos Activados modalidad Aireación Extendida

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SST: Sólidos Suspendidos Totales

DOH: Dirección de Obras Hidráulicas

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios

CF: Coliformes Fecales

VAN: Valor Actual Neto

CAE: Costo Anual Equivalente

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas servidas constituye un proceso fundamental en todos los lugares donde existen asentamientos humanos, debido a que de esta forma se disminuyen considerablemente los problemas sanitarios, potenciales daños al ecosistema y se logra una recuperación del recurso para ciertos usos. A nivel mundial existen 2,2 billones de personas sin acceso a saneamiento y 2,3 millones de muertes anuales debido a las enfermedades que la falta de esto conlleva y las condiciones insalubres en las que viven (SuSanA, 2007), lo cual deja en evidencia el grave problema que existe.

En el caso de Chile, de un universo de 2,0 millones de personas que conforman la población rural, el 80% cuenta con servicio domiciliario de agua potable, y sólo el 15% posee recolección y disposición de aguas servidas (Homsy y Asociados Ltda., 2008). Si a esto se agrega la inexistencia de una entidad pública responsable a cargo del tema de las aguas servidas rurales, se tiene como consecuencias problemas en la administración y asistencia técnica a estos servicios.

En virtud de lo anterior, considerando la problemática existente en el país y que las alternativas tradicionales no han logrado los resultados deseados, este trabajo busca como objetivos principales realizar un diagnóstico de la situación actual de los tratamientos de aguas servidas en las zonas rurales concentradas de las regiones IV, VI y RM, y además proponer un sistema de tratamiento que contemple no sólo el aspecto económico sino que también considere sus consecuencias en el medio ambiente y la aceptación social.

Para lograr el primer objetivo, se analiza la situación general del país en cuanto al número y tipo de plantas, normativa vigente y problemas existentes. Posteriormente, se escogen localidades insertas en el programa de Agua Potable Rural de aproximadamente 1.000 habitantes con variados sistemas de tratamiento de aguas servidas y se determinan y evalúa su estado, cumplimiento de la normativa, disposición del efluente y situación económica.

Para alcanzar el segundo objetivo, se realiza una revisión bibliográfica de lo que está sucediendo a nivel mundial en relación al tratamiento de las aguas servidas en zonas rurales o de menor densidad poblacional, y de esta forma poder escoger aquellas alternativas que sean posibles de aplicar en el país y evaluarlas bajo criterios de sustentabilidad.

2. ANTECEDENTES GENERALES

Los sistemas de tratamiento de aguas servidas han sido desarrollados principalmente para proteger la salud pública y el medio ambiente (Mustapha, 2008). Mundialmente, el avance en las áreas urbanas no es comparable al de las áreas rurales, las cuales han quedado muy postergadas (Massoud et al., 2009) Por otro lado está la disposición de estas aguas, ya que el medio receptor es crucial para la selección de la tecnología a aplicar y que debe realizarse considerando una evaluación integral del proceso (Massoud et al., 2009). Esta evaluación debe tener en cuenta que “la mejor tecnología es aquella que sea económicamente asequible, medioambientalmente sustentable y socialmente aceptable” (Wu, 2009), ya que sólo esto permitirá que ésta sea perdurable en el tiempo. Los factores detallados que involucran cada uno de los aspectos mencionados se muestran en la Figura 2.1:

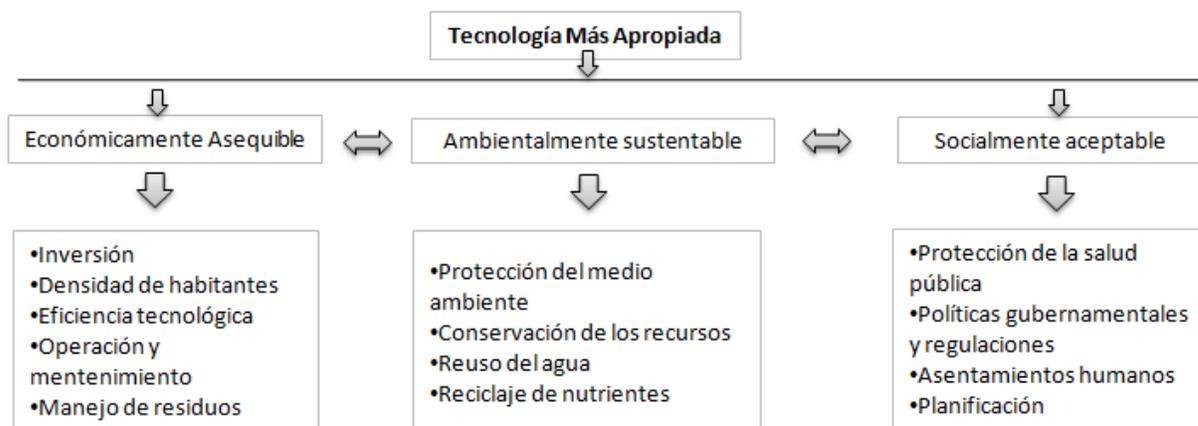


Figura 2.1: Esquema de factores que determinan tecnología más apropiada

Fuente: Massoud et al., 2009.

2.1. Antecedentes internacionales

A nivel mundial, se han realizado muchas investigaciones que intentan abordar el tratamiento de las aguas residuales en zonas rurales, de modo de proponer soluciones que puedan ser aplicadas en comunidades pequeñas y medianas, en la perspectiva de generar proyectos sostenibles, altamente eficientes y de bajo costo (Madera et al., 2005). La implementación de sistemas centralizados de tratamiento de aguas servidas es difícil debido al alto costo de implementación e infraestructura, además del deficiente manejo y regímenes de operación que dificultan una exitosa implementación (van Afferden et al, 2010). Por el contrario, los sistemas descentralizados han comenzado a ser cada vez más estudiados en áreas rurales remotas con baja densidad poblacional y están siendo progresivamente considerados debido a que son menos intensivos en cuanto a recursos y ecológicamente representan una forma más sustentable.

Actualmente, estos sistemas permiten flexibilidad en el manejo y una serie de procesos pueden ser combinados para conseguir las metas a las que apunta el tratamiento y así cumplir con los requerimientos tanto medioambientales como de salud pública (Massoud et al., 2009).

2.1.1. Alternativas de tratamiento

Las alternativas de tratamiento estudiadas que siguen la línea de lo anteriormente descrito son posibles de clasificar en dos grupos. El primero corresponde a los pretratamientos más utilizados y recomendados, mientras que en el segundo están los tratamientos complementarios al primer grupo que permiten mejorar las remociones de contaminantes de forma de cumplir con los estándares de calidad exigidos.

2.1.1.1. Alternativas de pretratamiento

El pretratamiento tiene como objetivo principal disminuir el contenido de Sólidos Suspendedos Totales (SST) en el cuerpo afluente, y en forma adicional, lograr cierta reducción de la materia orgánica. En este contexto, se tiene que los sistemas más utilizados son las fosas sépticas, tanques Imhoff y los reactores de flujo ascendente (digestores anaeróbicos), estos últimos con muy buenos resultados en zonas tropicales pero poco estudiados en otros climas.

Desde un punto de vista general, se tiene que la operación del pretratamiento es considerada la forma más conveniente de asegurar la correcta operación de los siguientes pasos del tratamiento, tanto en tratamientos convencionales como naturales de bajo costo (Álvarez et al., 2008).

2.1.1.1.1. Fosa Séptica

Corresponde al sistema más conocido y comúnmente aplicado en donde no existe red de alcantarillado, por lo que representan una solución pensada para abastecer las necesidades individuales o de pequeñas comunidades (hasta 350 habitantes). Son estanques prefabricados que offician como un reservorio combinado de sedimentación y desengrasado y también como almacenamiento de lodos que se digieren en forma anaeróbica.

Este sistema consiste generalmente en un contenedor hermético, el cual debe poseer resistencia estructural, con una o dos cámaras y donde el afluente se incorpora en la parte superior y en forma horizontal al estanque. Los tiempos de retención son de 2 ó 3 días, con el fin de eliminar los sólidos y proveer un medio anaeróbico. En este estanque, los sólidos sedimentables decantan formando una capa de lodo al fondo de éste, mientras que las grasas, aceites y material ligero tienden a acumularse en la superficie, donde forman una capa de espuma flotante (García, 2009). De esta forma, la materia orgánica se transforma en compuestos y gases más estables como Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) o Ácido Sulfhídrico (H₂S). Finalmente, el efluente puede destinarse a disposición en campos de infiltración o ser sometido a una unidad de tratamiento complementario según se requiera (Homsy y asociados Ltda., 2007).

Las ventajas de este sistema son su simplicidad en la construcción y operación. Económicamente se presentan como una mejor alternativa que los colectores en sectores con baja densidad poblacional. En forma adicional, tiene la ventaja que, al trabajar en forma anaeróbica, la cantidad de lodo generada es mucho menor que los decantadores primarios (Álvarez et al., 2008). Por otro lado, comparativamente con pozos negros y letrinas, las fosas sépticas constituyen una solución más higiénica y permiten instalar

dependencias de unidad sanitaria y cocina, confiriendo un nivel de calidad de vida superior (Chile, Ministerio del Interior, 2009)

Las remociones esperadas son las que se indican en la Tabla 2.1

Tabla 2.1: Eficiencias de remoción Fosa Séptica

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	25-40
Sólidos Suspendidos	%	77-80

Fuente: Chile, Ministerio del Interior, 2009.

Adecuadamente diseñados, mantenidos y utilizados, esto es, que posean resistencia estructural y que sean impermeables, las fosas sépticas han mostrado ser un excelente tratamiento con una vida útil de hasta 20 años (Joy et al., 2001).

Por el lado de las desventajas se tiene que está limitado a la capacidad de infiltración del suelo y que requiere de sistemas para eliminar los lodos.

En general, el diseño de una fosa séptica es como el que se muestra en la Figura 2.2:

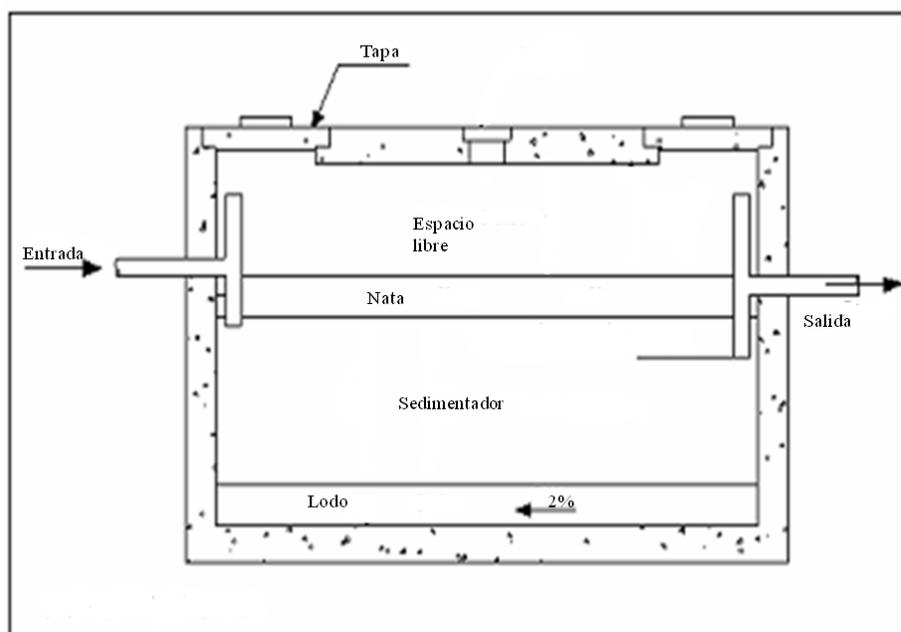


Figura 2.2: Diseño fosa séptica

Fuente: OPS/CEPIS, 2005.

2.1.1.1.2. Tanque Imhoff

Este tipo de tanque también es utilizado para el tratamiento primario de las aguas servidas domésticas, pero a diferencia de los tanques sépticos, éstos pueden tratar las aguas de un mayor número de habitantes; en general se habla de capacidades de hasta 5.000 habitantes (OPS/CEPIS, 2005), pero algunos autores indican que pueden utilizarse para el tratamiento de aguas de hasta 20.000 habitantes (Hoffmann et al., 2011).

El funcionamiento del tanque Imhoff es bastante similar al de la fosa séptica, donde la separación sólido-líquido se produce en la superficie y la digestión de los lodos en el fondo de él pero el tiempo de retención hidráulica en los tanques Imhoff es de alrededor de 2 horas (OPS/CEPIS, 2005), siendo bastante menor a la de las fosas sépticas.

El sistema consiste en 3 compartimentos, tal como se muestra en la Figura 2.3: Una cámara de sedimentación, otra de digestión de lodos y una tercera área de ventilación y acumulación de natas. En forma adicional, se recomienda un tratamiento anterior de cribado y removedor de arenas. Los lodos generados deben ser extraídos en forma periódica y pueden ser dispuestos en lechos de secado para disminuir su contenido de humedad.

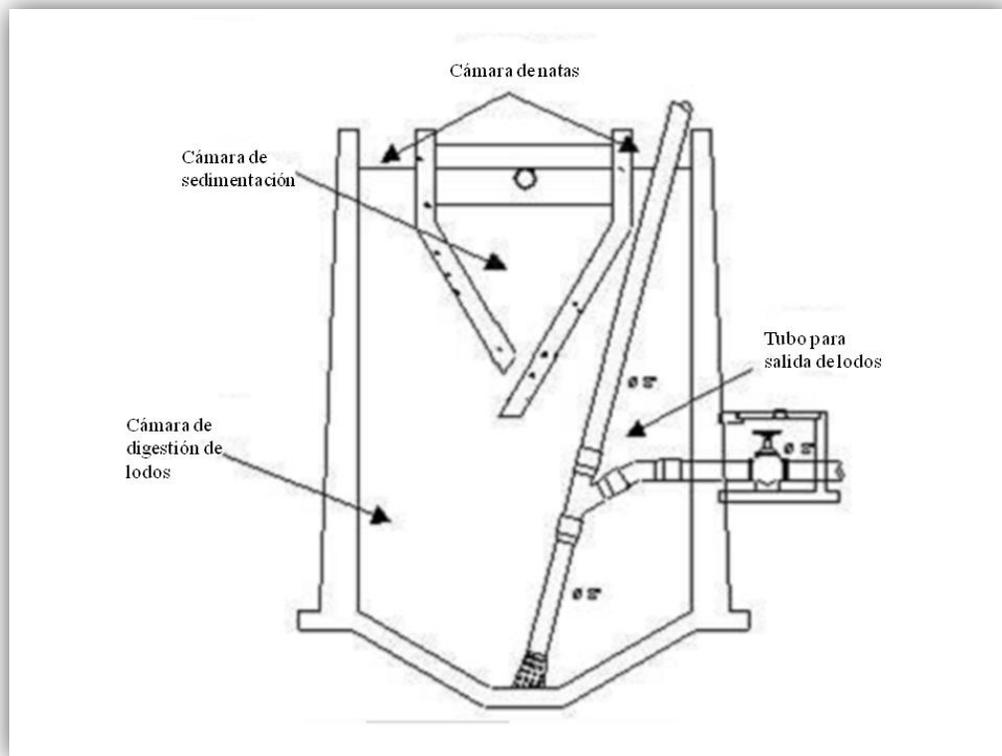


Figura 2.3: Diseño Tanque Imhoff

Fuente: OPS/CEPIS, 2005.

En relación a sus ventajas, se puede destacar que el lodo producido es de mejor calidad que le de las fosas séptica, bajos costos de construcción y operación y es de fácil operación. Por el lado de las desventajas, el punto más débil que presenta es que, al ser estructuras profundas (mayores a 6 m) puede presentar problemas en lugares donde la napa freática se encuentre muy cerca de la superficie. (OPS/CEPIS, 2005)

Respecto a los porcentajes de remoción, son los que se indican en la Tabla 2.2

Tabla 2.2: Eficiencias de remoción Tanques Imhoff

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	25-35
Sólidos Suspendidos	%	40-50

Fuente: OPS/CEPIS, 2005.

2.1.1.1.3. Tanque séptico modificado

Otra de las alternativas que se están estudiando son variaciones de la tradicional fosa séptica, de modo de mejorar las eficiencias de remoción de Sólidos Suspendidos Totales y con esto permitir una mejor eficiencia de remoción de materia orgánica en las etapas posteriores.

Las modificaciones han sido diseñadas para mejorar las deficiencias de las tradicionales fosas sépticas pero siempre continuando la línea de innovar en sistemas descentralizados de tratamiento. Entre estas modificaciones se encuentran el tanque séptico de flujo ascendente (USBR por sus siglas en inglés) y el reactor anaeróbico de manto de lodo ascendente (UASB). Ambos sistemas comparten características similares en cuanto a la forma de entrada del flujo al reactor, el cual, a diferencia de la fosa séptica es en forma ascendente y posee una instalación de placas en la parte superior del compartimiento (ver Figura 2.5) (Al-Shayah & Mahmoud, 2008). El modo de operación mediante flujo ascendente mejora la remoción de los sólidos suspendidos mediante la acción de la gravedad y el mecanismo de atrapamiento, mientras que la instalación de placas permite reducir los sólidos a la salida del compartimiento. Los resultados obtenidos en los diversos lugares donde han sido utilizados (República Checa, Dinamarca, Reino Unido, Norteamérica) muestran que aún cuando estas alternativas se presentan como una mejor opción comparativa al tanque séptico tradicional, es necesario un tratamiento posterior para así cumplir con la normativa.

Dentro de sus ventajas se encuentran el diseño del reactor que permite poco requerimiento de espacio, baja producción de lodos, potencial de producción de energía y habilidad para tolerar largos espacios entre alimentación (Moussavi et al., 2010). Respecto a la aplicabilidad de este sistema en climas del tipo subtropical se ha estudiado muy poco, destacando lo realizado por la Universidad de Salta, donde se muestran buenos resultados para el clima de las zonas a estudiar pero considerando estas unidades en

compañía de tanques de sedimentación como tratamiento primario o lagunas de estabilización como tratamiento posterior. Las eficiencias logradas para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) mediante estos sistemas fueron de 84% para el primer caso y de 89% para el segundo. (Seghezzo, 2004).

i. Reactor anaeróbico de manto de lodos ascendente (UASB)

Este reactor consiste en un solo compartimiento, al igual que el tanque séptico, pero que tal como se señaló, el ingreso de las aguas servidas es por el fondo de éste mediante bombas que impulsan el afluyente, donde ocurre todo el proceso biológico. La capa de lodo que se genera está principalmente formada por la acumulación de los sólidos suspendidos afluentes y el crecimiento bacteriano.

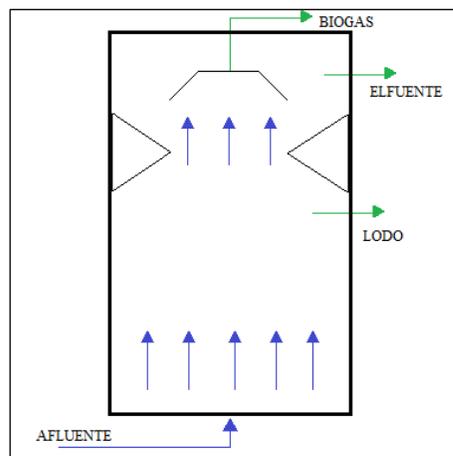


Figura 2.4: Representación esquemática del reactor tipo UASB

Las eficiencias que entrega la literatura son las que se indican en la Tabla 2.3

Tabla 2.3: Eficiencia remoción UASB

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	59
Sólidos Suspendidos	%	81

Fuente: Al-Shayah & Mahmoud, 2008.

Los resultados de eficiencia de la Tabla 2.3, indican que si bien es cierto, presenta un aumento claro respecto a las fosas sépticas, aún así es necesario un tratamiento posterior que permita remover la materia orgánica, nutrientes (en el caso que no se destine a reúso) y patógenos remanentes.

A nivel de procesos, la digestión anaeróbica está compuesta por tres etapas, hidrólisis, formación de ácidos orgánicos y producción de metano. Las dos primeras se conocen como etapas no metanogénicas (Castillo, 2008). Todo este proceso puede ser realizado tanto en una o dos unidades separadas pero en

serie entre sí. Las condiciones metanogénicas o no metanogénicas están definidas por parámetros como el tipo de sustrato, concentración afluente, temperatura, tiempo de retención hidráulico y celular.

Una variación funcional, pero manteniendo la misma estructura de la figura anterior, es el reactor HUSB (por sus siglas en inglés), que se diferencia del UASB por la etapa de la digestión anaeróbica en la que trabajan, pues el reactor HUSB trabaja sólo en la etapa de hidrólisis

ii. Reactor tipo fosa séptica de flujo ascendente (USBR)

Este reactor consiste en dos compartimientos, donde el primero realiza la función de almacenamiento y digestión del lodo, tal como en el reactor mencionado en el punto anterior, y un segundo compartimiento que funciona como una unidad de refinamiento de la calidad del efluente. Este último está dividido en secciones mediante paredes verticales que actúan como reactores bafle y por ende, puede ser considerado como una configuración tipo flujo pistón, que provee beneficios cinéticos que permite a los microorganismos degradar los orgánicos residuales al menor nivel posible (Sabry, 2010). En forma adicional, se puede incluir grava como medio filtrante en este segundo compartimiento con el fin de retener los sólidos biológicos para el caso de período de tiempo largos.

La estructura del sistema USBR es como el que se muestra en la Figura 2.5

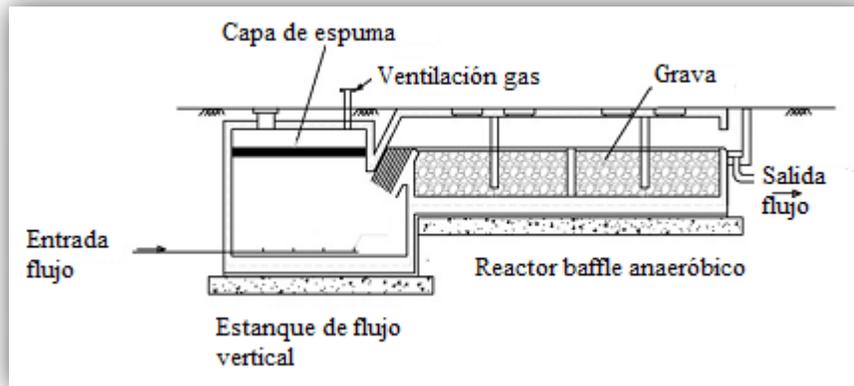


Figura 2.5: Esquema tanque séptico modificado (USBR)

Fuente: Sabry, 2010.

Los estudios realizados muestran que la mayor parte tanto de los SST como de la DBO son removidos en el primer compartimiento, mientras que el reactor baffle anaeróbico tiene como función convertir los ácidos grasos volátiles y DBO suspendida remanente en metano.

Las eficiencias de remoción para el estanque USBR para un tiempo de detención de 20 horas se muestran en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4: Eficiencias de remoción USBR

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	81
Sólidos Suspendidos	%	89

Fuente: Sabry, 2010.

Estos resultados resultan satisfactorios ya que permiten cumplir la regulación de Egipto, país donde fue realizado el estudio. Además, resultan concordantes con los resultados obtenidos en otras zonas tropicales, mientras que para zonas subtropicales, a medida que la temperatura desciende, las eficiencias disminuyen, requiriendo tratamientos complementarios para lograr la eficiencia esperada en los diferentes parámetros (Sabry, 2010)

2.1.1.1.4. Unidad Sanitaria Seca

Otra opción de tratamiento de las aguas servidas es aquella que trabaja bajo el principio de separación de los desechos sólidos (excretas) de los líquidos (aguas grises y orina) mediante una taza separadora, de modo que la parte sólida se descomponga en forma aerobia en una cámara y la parte líquida se infiltre al suelo mediante drenes.

Los elementos que conforman este tipo de solución son:

- Taza separadora: Tal como lo dice su nombre, permite la desviación de los desechos líquidos y sólidos (ver Figura 2.6)
- Urinario: Evita el ingreso de orina a la cámara de desechos sólidos al ser usado por hombres.
- Cámara de secado o descomposición: En general consta de dos compartimientos ubicados debajo de la taza y es donde ocurre la descomposición aerobia de éstos. La idea de tener 2 compartimientos es ir alternando los usos, de modo que al estar cerca de dos tercios de su capacidad, el otro entra en operación.
- Mezcla de secado: Material que se le adiciona a la cámara por medio de la taza, con el fin de disminuir el contenido de humedad en la cámara. La cantidad a aplicar debe ser equivalente a las heces depositadas y el material puede ser aserrín, pasto seco, cenizas o cal.
- Tubo de ventilación: Tubo vertical de por lo menos 10 cm. que se ubica desde la cámara de descomposición hasta la parte superior de la caseta sanitaria con el fin de evitar los malos olores. En forma adicional debe estar provista de un “techo” que la proteja de la entrada al tubo de lluvias y una rejilla que impida la entrada de vectores.
- Cámara desengrasadora: Ubicada a continuación de las aguas grises, con el fin de proveer un filtro al agua que posteriormente será infiltrada.

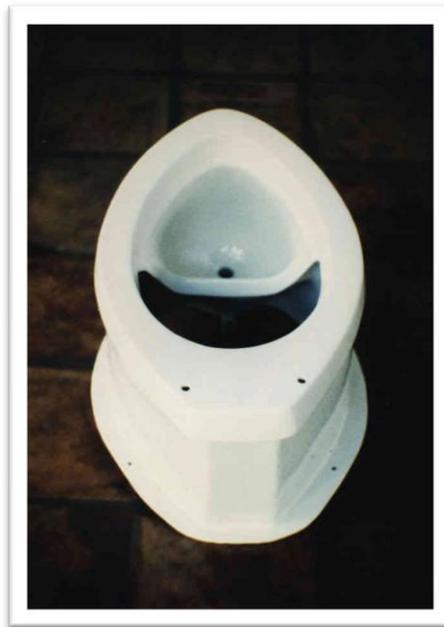


Figura 2.6: Taza separadora de orina

Fuente: Bachillerato Integral Comunitario, 2011

Dentro de las ventajas que este sistema presenta es que no requiere agua, que puede ser incorporado a una vivienda existente, no contamina las aguas subterráneas y que el desecho sólido generado luego de la descomposición resulta inocuo para su manejo. Por el lado de las desventajas está la necesaria capacitación que se debe realizar a los nuevos usuarios del sistema para que comprendan el funcionamiento de este tipo de unidades.

De acuerdo a lo postulado por García (2009), para poblaciones menores a 160 viviendas y/o con una distancia entre viviendas mayores a 15 m, se recomienda el uso de soluciones individuales por sobre las colectivas, destacando la unidad sanitaria seca debido a sus múltiples ventajas anteriormente mencionadas.

2.1.1.2. Tratamientos secundarios

Tal como se mencionó en la parte anterior, este proceso pretende trabajar en conjunto con los sistemas anteriormente descritos, de modo de proporcionar una mejor calidad en el efluente.

2.1.1.2.1. Humedales

Los humedales naturales son complejos mosaicos de láminas de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, en los que el suelo se mantiene saturado de agua durante un largo período de tiempo cada año (Lahora, 2003)

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales (Lara, 1999)

- ✓ Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- ✓ Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- ✓ Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y mantenimiento

Es por esto, que se ha innovado en la creación o construcción de humedales artificiales, los cuales corresponden a sistemas de ingeniería que han sido diseñados y construidos para utilizar procesos naturales, involucrando diferentes plantas, suelo y microorganismos para asistir el tratamiento de las aguas servidas. Su principal característica es que están diseñados para tomar ventaja de muchos de los procesos que ocurren naturalmente en los humedales, pero en un medio más controlado (Agency, 1993), esto es, tomando en cuenta el caudal afluente y sus características bacteriológicas y físico químicas, las dimensiones del humedal, entre otros.

Estos humedales suelen clasificarse obedeciendo al sentido preferente de movimiento del agua en los lechos.

Sistemas a Flujo Libre (FWS por sus siglas en inglés): Las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el flujo de agua se hace a través de las hojas y tallos de las plantas. El agua se vierte en superficie en un extremo del lecho, escurre expuesta a la atmósfera, lenta y horizontalmente para finalmente ser evacuada por el otro extremo mediante un vertedero (Arias & Brix, 2003)

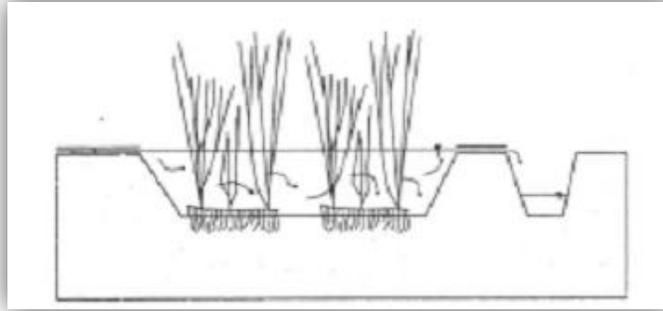


Figura 2.7: Sistema de humedal con superficie libre

Fuente: Miglio & Nava, 2003.

Sistema de Flujo Subsuperficial (SFS): La lámina de agua no es visible, el agua se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, escurre en sentido horizontal a través de un medio granular de arena, grava o suelo y entre las raíces de las plantas. Al final y en el fondo del lecho, el agua es recolectada y se evacúa por medio de tuberías y/o vertederos.

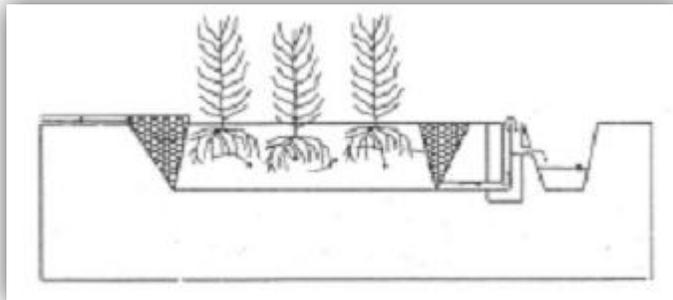


Figura 2.8: Sistema de humedal de flujo subsuperficial

Fuente: Miglio & Nava, 2003.

En general, los humedales anteriormente descritos no exceden los 0,6 m de profundidad y para facilitar el escurrimiento del agua deben ser construidos con una leve pendiente de fondo, pero procurando mantener las condiciones hidráulicas de flujo laminar.

Además de estos humedales, existen los sistemas híbridos, que son combinaciones de los humedales anteriormente descritos y los de flujo vertical, donde el agua fluye de manera descendente y percola en el humedal (Arias & Brix, 2003).

A nivel de funcionalidad del sistema de tratamiento, estos humedales se ubican a continuación del tratamiento primario, de modo que reciban el efluente de éstas últimas y continúen con el proceso de depuración de las aguas. En el caso del estudio realizado en China (Wu, 2009), la vegetación escogida para este tipo de tratamiento fueron helófitos (plantas capaces de arraigar sus raíces en suelos anegados o encharcados, mientras que el resto de sus órganos, tallos y hojas, se desarrollan fuera del agua).

Los resultados obtenidos para un muestreo durante 9 meses entre el año 2008 y 2009 en China muestran que para concentraciones iniciales de 300 mg/l DBO₅, a la salida del tanque de sedimentación se obtuvo una concentración de 230 mg/l y el efluente del humedal siempre estuvo por debajo de los 30 mg/l. Para el caso de los SST, el afluente ingresaba con 140 mg/l, a la salida del tanque el promedio era 70 mg/l y luego de pasar por el humedal, el efluente final estaba por debajo de los 10 mg/l.

Con respecto a los cambios de temperatura, los resultados mostraron que al ser este humedal del tipo sumergido, la temperatura del agua se mantuvo relativamente constante, obteniéndose cerca de 20°C para el período de verano (variaciones de mínima y máximas en el aire de 23°C y 35°C respectivamente) y de 5°C para los meses de invierno (con fluctuaciones del ambiente entre 10°C y -10°C). En el Anexo A se encuentran en detalle los gráficos con los resultados.

En Perú, también se han realizado variados estudios con humedales usando diferentes plantas acuáticas para tratar las aguas residuales. Uno de ellos fue el monitoreo que se realizó durante 4 meses a un sistema con estanques de sedimentación y 2 humedales en paralelo, cada uno con un caudal de tratamiento de 2,2 m³/d.

Tabla 2.5: Eficiencias de remoción humedal artificial

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	86
Sólidos Suspendidos	%	97
Coliformes Fecales	om	2-3

Fuente: Miglio, 2005.

En cuanto al crecimiento y control de la vegetación se obtuvo que la mejor es la *Cyperus aff. Ferox* (paraguita) (Miglio, 2005). Este antecedente es importante pues se debe procurar podar las plantas con regularidad para evitar que la biomasa penetre en el agua y demande oxígeno para su degradación; además la remoción de nutrientes es mayor cuando la planta está en crecimiento que cuando está madura (Miglio & Sotero, 2005)

Otras experiencias en la Universidad de Covenant, Nigeria, han demostrado la viabilidad de este sistema como tratamiento a las aguas servidas. En este caso se utilizaron plantas de jacinto (*Eichornia crassipes*) para tratar las aguas provenientes de la comunidad universitaria, de aproximadamente 6000 estudiantes y académicos que viven en forma estable ahí, más los cerca de 1000 visitantes diarios que reciben en la Universidad.

El humedal construido consistió en seis unidades de estanques aeróbicos facultativos de concreto, cada uno dividido en 4 celdas pero con aberturas alternadas entre los finales de cada una de ellas, de modo que funcionen como baffles o deflectores y así asegurar la mezcla apropiada de las aguas servidas mientras éstas atraviesan los estanques. Con esto, se tiene que el humedal funciona en forma continua.

La superficie a utilizar se cubrió completamente con la especie *E. crassipes*, reduciendo de esta forma la penetración de luz solar a las aguas servidas. Así, el tratamiento es realizado principalmente mediante biosorción de las impurezas orgánicas y metales pesados, además de la sedimentación tanto de los sólidos como de los tejidos de las mismas plantas.

En forma preliminar, las aguas servidas del campus fueron recolectadas por alcantarillado y llevadas a fosas sépticas, las cuales, tal como se mencionó, funcionan como pozos anaeróbicos, donde la DBO y SST son sustancialmente reducidos por sedimentación y digestión anaeróbica. Posterior a esto, el efluente parcialmente tratado entra a una cámara de desviación desde donde se lleva hasta el humedal de jacintos. El alto tiempo de retención en los tanques sépticos se requiere para destruir o reducir los microorganismos patógenos.

Desde el punto de entrada, el flujo continuó en serie hasta el punto de salida, el cual descargó en un canal que recorre alrededor de 8 metros hasta llegar a un acantilado. Acá se formó una cascada que proveyó de aireación a las aguas antes de mezclarlas con el cuerpo receptor unos 20 m. aguas abajo del punto de la cascada.

Con el fin de conocer las características fisicoquímicas y bacteriológicas del cuerpo receptor antes de la descarga, la eficiencia de los procesos y la capacidad de dilución del cuerpo varios metros más abajo de la descarga, se recolectaron muestras de 7 puntos. Éstas fueron recogidas en diferentes períodos durante el inicio de la estación seca, en diciembre de 2006 y enero de 2007 y también en la estación lluviosa en abril y junio de 2007. Los resultados de este estudio en cuanto a la remoción de los principales parámetros son los que se muestran en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6: Eficiencia del uso de humedales de Jacinta como tratamiento de aguas servidas en Nigeria

Muestra	DBO5 mg/l	NO₃ mg/l	PO₄³⁻ mg/l	SST mg/l	CF NMP/100ml
Agua cruda	162,4	7,7	46,9	119,5	64*10 ⁶
Efluente canal	105,3	7,35	42,6	96	25*10 ⁴
Efluente aireado	86,4	6,95	42,6	113,8	23*10 ⁴

Fuente: Adewumi & Abedanji, 2009.

Además, se obtuvo que el sistema de humedales en base al uso de jacintos es limitado en el tratamiento de aguas servidas que contengan Sólidos Orgánicos Volátiles, hierro disuelto y metales pesados, razón por la cual es necesario observar la matriz de agua afluyente al momento de elegir este tipo de tratamiento. Además, de la Tabla 2.6 se puede observar que la aireación del efluente mejora su calidad pero que aún así se necesita de mayor investigación para lograr los estándares exigidos para los cuerpos de descargas de aguas. (Adewumi & Abedanji, 2009)

A nivel de diseño, una forma de dimensionar el humedal puede ser considerando la remoción de DBO₅ como un modelo de primer orden. En este caso, asumiendo la DBO de fondo el área del humedal se puede calcular como la ecuación que se presenta:

$$A = \left(\frac{V}{h} \cdot k_v \cdot E \right) \ln \left(\frac{DBO_5^a}{DBO_5^e} \right) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

A: área del humedal

V: volumen diario de agua (m³/d)

E: porosidad de la grava

k_v: constante cinética de primer orden que depende de la temperatura (varía desde 0,17 a 6,11 d⁻¹)

h: profundidad del humedal

De la ecuación anterior se desprende que para un mismo poblado, el área es proporcional al logaritmo del cociente de la DBO afluyente y efluente, por lo que, asumiendo que la DBO efluente a cumplir es

parámetro fijo, el único valor que puede modificar el área de construcción del humedal es la DBO afluente, la cual depende del tratamiento primario utilizado.

Otro punto importante del cual depende la eficiencia de los humedales es la cantidad de SST afluente a ellos, ya que esto tiene directa relación con la obstrucción del sustrato luego de varios años de operación. Al no poseer un tratamiento eficaz en la remoción de éstos, con el tiempo, los SST son sedimentados y acumulados en el fondo de los humedales artificiales, disminuyendo su capacidad (Álvarez et al., 2008).

Los lechos donde se construyen los humedales deben estar montados sobre una estructura reforzada o con un geotextil que evite el paso del agua al suelo y posterior contaminación de la napa y en su interior (relleno filtrante), una estratigrafía formado por arenas y gravas (Morice, 2005) aunque se han observado varios estudios donde se recomiendan arenas uniformes con un d_{10} entre 0,3 y 2 mm (Brix, 2004). En la Tabla 2.7 se presentan características de porosidad, constantes de temperatura para diferentes medios:

Tabla 2.7: Características de los medios para humedales de flujo subsuperficial

Medio	Tamaño partículas (mm)	Porosidad (n)	Conductividad Hidráulica (K_s) $M_3/m_2/d$	K_{20}
Arena media	1	0,42	420	1,84
Arena gruesa	2	0,39	480	1,35
Arena gravosa	8	0,35	500	0,86

Fuente: Xiao, 2002.

2.1.1.2.2. Sistemas de filtro

Respondiendo a las necesidades de espacio restringido y capacidad limitada de infiltración, se han desarrollado varios sistemas que se basan en la filtración como paso adicional al proceso de tratamiento. En este sentido, los filtros de arena son las tecnologías tradicionales más aplicadas en sistemas descentralizados. Éstos se ubican en el efluente del tanque séptico con el fin de remover los sólidos que no lograron decantar en el proceso de sedimentación anterior.

Por otro lado, se han ido creando un gran número de sistemas que utilizan los filtros como una componente más integral del sistema. Éstos en particular se caracterizan por ser materiales reciclables.

Materiales utilizados como medio filtrante

Turba (Sistema de Turba Ecoflow®): Consiste en un medio natural que posee las propiedades de ser permeable y absorbente. El sistema se basa en un depósito de fibra de vidrio en donde se encuentra la turba. Ésta se ubica a continuación del tanque séptico y descarga directamente en un área por debajo del depósito.

Espuma (Biofiltro Waterloo®): Estos filtros formados a partir de espuma plástica de forma cúbica tienen una funcionalidad similar a la de los filtros de arena, con la ventaja de permitir suficiente flujo de aire para mantener condiciones aeróbicas en el medio. Una vez fuera del filtro, el efluente puede pasar por un lecho, un sistema de zanjas poco profundas o una cama de arena.

Las eficiencias de remoción para ambos materiales dispuestos a continuación de la fosa séptica son los que se muestran en la Tabla 2.8

Tabla 2.8: Eficiencias de remoción filtros

Parámetro	Unidad	Eficiencia	
		Turba	Espuma
DBO	%	95	90-95
Sólidos Suspendidos	%	90	90-95
Coliformes fecales	om	2	2-3

Fuente: Joy et al., 2001.

2.2. Antecedentes nacionales

2.2.1. Programa Nacional de Agua Potable Rural y situación actual

Para comprender a cabalidad la situación y administración de las aguas servidas en las zonas rurales de Chile es necesario tener como antecedente lo que ocurre con el agua potable. El programa de Agua Potable Rural (APR) nace en el año 1964 con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el cual pretendía dar solución de agua potable a las poblaciones entre 150 y 3.000 habitantes y una concentración no inferior a 15 viviendas por kilómetro de calle. Mediante este programa, se daba la posibilidad que las comunidades se organizaran mediante cooperativas y posteriormente también en comités, las cuales estaban y lo siguen hasta hoy constituidas por el conjunto de usuarios, de giro exclusivo, que operan los sistemas en cada localidad. El financiamiento de estos sistemas, una vez finalizado el apoyo del BID, pasa primeramente por el Estado, el cual se hace cargo de los costos

asociados a la inversión, mientras que los costos operacionales y de mantención son financiados con la recaudación de tarifa de los usuarios.

Actualmente el sector rural sigue funcionando tal como en sus inicios en cuanto a la estructura que conforman los usuarios y es dirigido por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través del Departamento de Programas Sanitarios (DPS) y fiscalizado por el Ministerio de Salud en lo referido a la calidad del agua potable y también por el Departamento de Cooperativas del Ministerio de Economía en relación a gestión administrativa y financiera. La asistencia técnica a las Cooperativas y Comités de Agua es gestionada por el DPS a unidades técnicas especializadas, las cuales en general corresponden a empresas sanitarias constituidas en sociedades anónimas, que asumieron a partir de 1990 las responsabilidades que tenía hasta esa fecha el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS) creado en 1977, tal como lo indica el art. 2° transitorio de la Ley 19.549 de 1998.

En la actualidad, el número de sistemas de APR's en el país alcanza a 1.407, de las cuales 1.301 corresponden a comités y 106 a cooperativas, logrando una cobertura de agua potable del 80% para la zona rural concentrada del país (Chile, Ministerio del Interior, 2009).

2.2.2. Situación del saneamiento rural

Con respecto al saneamiento, se tienen algunas localidades rurales organizadas que tienen resuelto su servicio de abastecimiento de agua potable y cuya administración funciona adecuadamente, por lo que han avanzado en la solución de sistemas de alcantarillado.

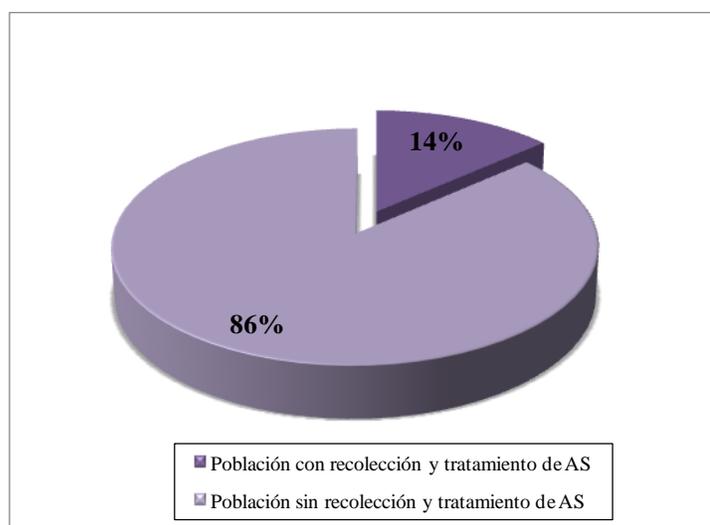


Figura 2.9: Distribución de población rural con APR según existencia de recolección y tratamiento de aguas servidas

Fuente: Chile, Ministerio del Interior, 2009.

Tal como se observa de la Figura 2.9, la situación de recolección y disposición de las aguas servidas no es generalizada para toda la población rural, llegando sólo a cubrir al 14% del total rural que corresponde a aproximadamente 180.000 personas. A esto, se suma el hecho que no existe una institución definida a cargo de las aguas servidas rurales, por lo que tanto las responsabilidades en cuanto a la construcción y operación como la asignación de los fondos necesarios para ello provienen de diversos entes gubernamentales:

- ◆ **Chile Barrio:** participan en este Programa diversos Ministerios y es presidido por un Directorio dependiente del Ministro de Vivienda y Urbanismo y un Director Ejecutivo,
- ◆ **Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR):** su administración corresponde principalmente a los Gobiernos Regionales y a la SUBDERE (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo),
- ◆ **Municipalidades**
- ◆ **Programa Mejoramiento de Barrios (PMB):** su administración corresponde a los Gobiernos Regionales y a la SUBDERE,
- ◆ **Programa Mejoramiento Urbano (PMU):** fuente de financiamiento del Ministerio del Interior administrado por la SUBDERE,
- ◆ **Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU):** dependiente del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Dentro del 14% de población con recolección y tratamiento de aguas servidas existe una amplia diversidad en la forma de tratamiento utilizado, tal como se detalla en la Figura 2.10:

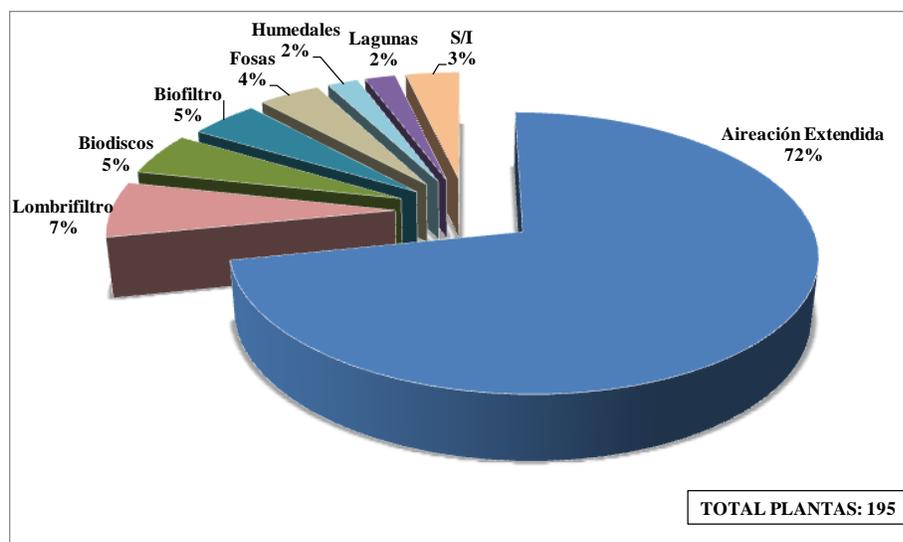


Figura 2.10: División porcentual actual de tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas servidas en zonas rurales. Año 2010

Fuente: SISS (2010)

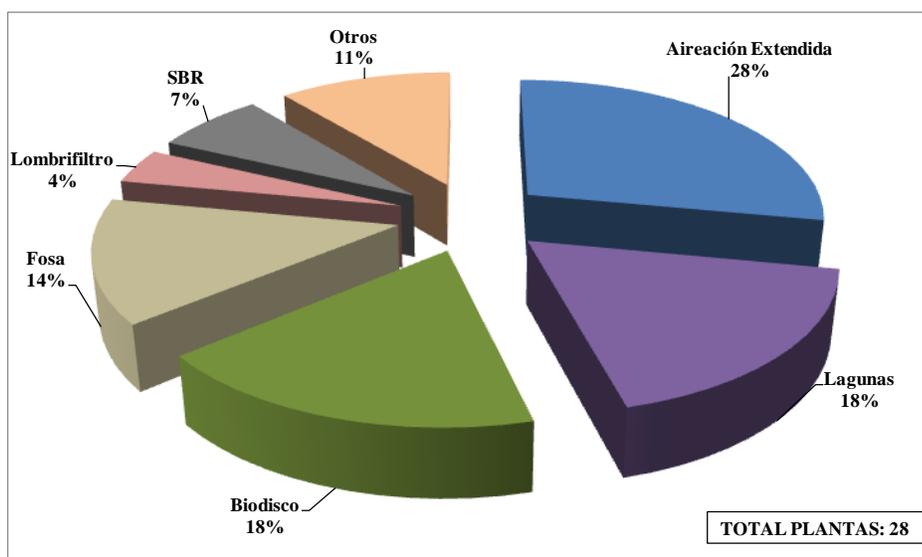


Figura 2.11: División porcentual de tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas servidas en zonas rurales. Año 2003

Fuente: Dünner (2003)

Comparando la situación en el año 2003 (Figura 2.11) con la actualidad (Figura 2.10), se tiene que ha habido un gran aumento en la construcción de éstas, pasando de un total de 28 plantas a 195 en un lapso de 7 años. En cuanto al tipo de tratamiento utilizado, se mantiene la tendencia de que la mayor parte es del tipo Lodos Activados con Aireación Extendida (LAAE), con un aumento significativo respecto de la proporción general, pasando de un 28% a un 72% del total de plantas. Como consecuencia de esto, todas las otras alternativas han ido disminuyendo en su construcción.

Con el fin de conocer el funcionamiento de cada uno de los sistemas mencionados en la Figura 2.10, a continuación se presenta una descripción de cada uno de ellos.

2.2.2.1. Lodos Activados

Constituyen un sistema en el cual se mantiene determinada biomasa en agitación en un estanque de aireación, donde tiene lugar el tratamiento biológico gracias a los microorganismos que ahí existen. Éstos, se mezclan con la materia orgánica que ingresa, permitiendo de esta manera su crecimiento con la consecuencia de estabilizar la materia orgánica.

El aire inyectado al estanque mediante difusores permite la formación de los lodos activados, que corresponde a la masa generada a partir de la unión de los flóculos que los microorganismos generan durante su crecimiento.

Para el caso de zonas rurales o pequeñas poblaciones, las modalidades más utilizadas son del tipo Aireación extendida. En esta modalidad los tiempos de aireación pueden ser de 24 horas o más, siendo el proceso más largo de todos los sistemas de lodos activados. Debido a la baja carga de materia orgánica

afluente, este sistema trabaja en la fase endógena del crecimiento de los microorganismos (Warren Viesmsman & Hammer, 1985). Para lograr una buena operación del sistema se sugiere una relación alimento/microorganismos baja, entre 0,05 y 0,15 [kgDBO/kgSSVLM/día] (Homsí y Asociados Ltda., 2008).

A nivel de procesos, se tiene que en general el tratamiento está compuesto por lo mostrado en la Figura 2.12:

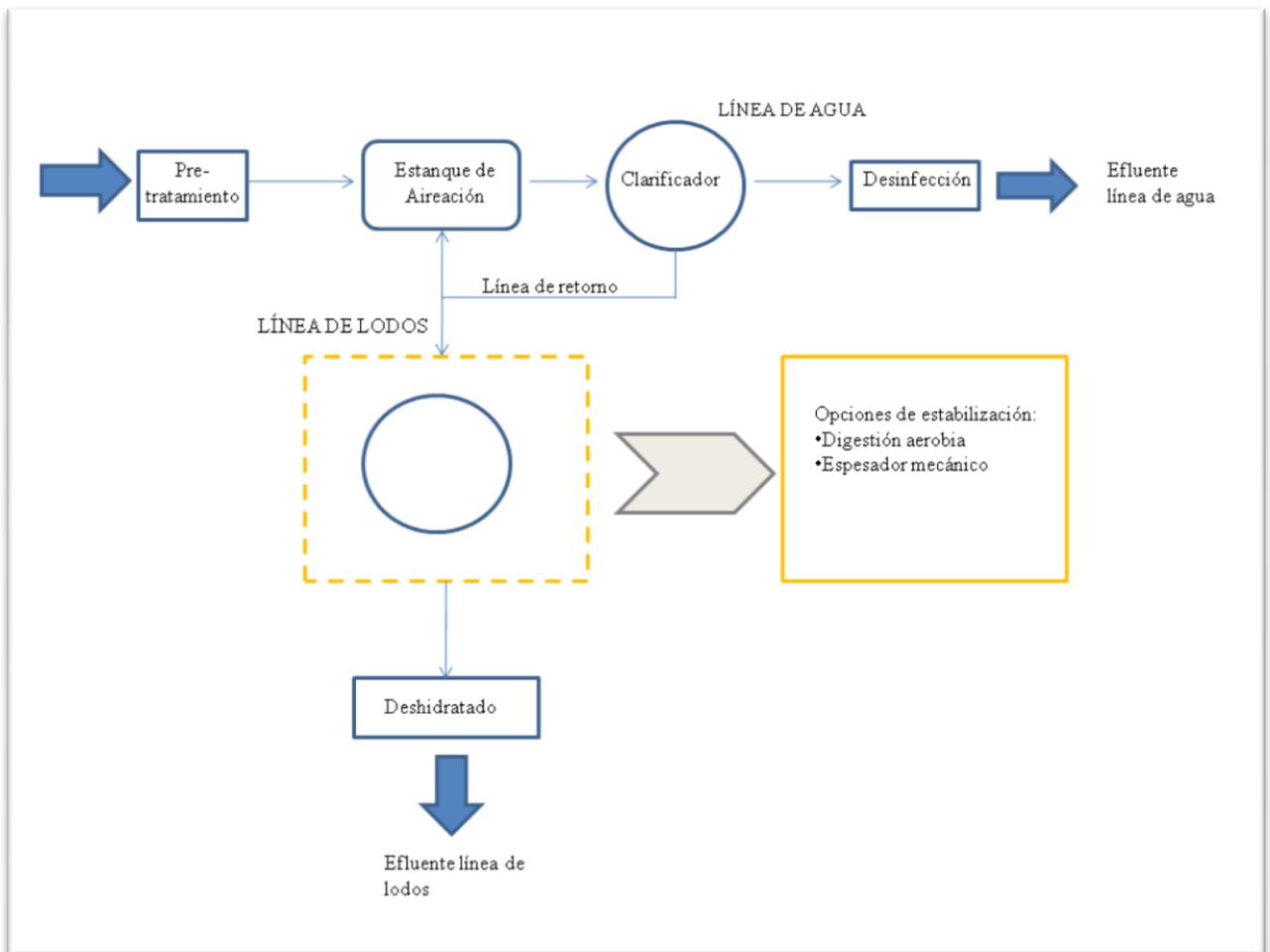


Figura 2.12: Procesos sistema de lodos activados aireación extendida

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se observa de la figura anterior, a diferencia del tratamiento de lodos activados convencionales, la aireación extendida prescinde de tratamiento primario. Por ende los lodos obtenidos provienen únicamente del clarificador secundario. Por lo general no se realiza la digestión de ellos, puesto que, debido al largo período de retención (20-30 días) los lodos logran estabilizarse en el estanque de aireación (Homsí y Asociados Ltda., 2008), siendo él único proceso el espesamiento de ellos, que se realiza principalmente en forma gravitacional. En los casos en donde se quiera estabilizar los lodos, se utiliza

digestión aerobia, la cual entre sus ventajas presenta un efluente estable y sin olores pero el efluente es un lodo muy poco deshidratado y se requiere un alto valor energético producto del aire continuo que se le debe aplicar para su estabilización. Finalmente, cualquiera sea el tratamiento escogido para los lodos, éstos son deshidratados en su mayoría en canchas de secado.

Tabla 2.9: Eficiencias de remoción Lodos Activados Aireación Extendida

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	90-95
Sólidos Suspendidos	%	80-90
Nitrógeno	%	15-30
Fósforo	%	10-25
Coliformes Fecales	om	1

Fuente: Homsy y asociados Ltda., 2007.

Dentro de las principales ventajas de este sistema se encuentran la alta remoción de carga orgánica que es posible lograr, la flexibilidad en la operación mediante control racional de la biomasa y generación de lodo altamente mineralizado. Por el lado de las desventajas están los altos costos energéticos, el alto conocimiento que requiere el operador para el manejo de la planta, y la baja eficiencia en cuanto a la remoción de patógenos (Homsy y Asociados Ltda., 2007).

Siguiendo con el mismo concepto, existen las llamadas plantas compactas, que también trabajan con la modalidad de lodos activados y en general contiene los mismos elementos presentados en la Figura 2.12, pero que a diferencia de las plantas tradicionales, éstas se encuentran prefabricadas en diferentes materiales (fibra de vidrio, acero, hormigón armado) para diferentes rangos de población con valores estándares de los diferentes parámetros de aguas servidas. Las ventajas que presenta este tipo de plantas es que utilizan poco espacio y no requieren de manejo en la operación. Dentro de las desventajas se encuentran el alto consumo energético y la poca modificación que puede realizarse a los parámetros del sistema, por lo que fallan rápidamente.

2.2.2.2. Lagunas aireadas

En general, las lagunas aireadas corresponden a un tipo de tratamiento biológico sencillo, de fácil configuración, que se asemejan a un sistema de lodos activados pero sin recirculación. Funcionan bajo el principio de un reactor de mezcla completa y tal como lo dice su nombre, al ser aireadas, la estabilización de la materia orgánica se realiza en forma aerobia. Para las zonas rurales, los más utilizados son del tipo mezcla completa y multicelulares. El primero corresponde a una laguna aireada donde se provee un nivel tal de oxígeno, que los sólidos se mantienen continuamente en suspensión. Debido a esto, se requiere de

una unidad posterior que permita la decantación de éstos, donde los lodos generados, digeridos anaeróbicamente, son posteriormente enviados a lechos de secados.

Para el caso de las lagunas aireadas multicelulares, la configuración difiere de la anterior debido a que en este caso, existen 2 o más lagunas que trabajan en forma secuencial, la primera funcionando como reactor de mezcla completa, mientras que en la segunda etapa (compuesta por una o más lagunas en serie) existe sólo una mezcla parcial, permitiendo de esta forma la sedimentación, estabilización y almacenamiento de los lodos sedimentados.

Tabla 2.10: Eficiencias remoción Lagunas Aireadas multicelulares

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	50-60
Sólidos Suspendidos	%	70-80
Coliformes Fecales	om	1-2

Fuente: Homsy y Asociados Ltda., 2008

2.2.2.3. Fosa séptica

Descripción abordada en antecedentes internacionales.

2.2.2.4. Biodiscos

Los biodiscos corresponden a un sistema convencional donde la biomasa se encuentra fija en la superficie de discos, los cuales están dispuestos en serie, giran a baja velocidad (1,5 rpm) y con una superficie de contacto del 40%.

El agua pasa horizontalmente a través del tanque donde están ubicados los discos, de modo que al ir éstos girando, la materia orgánica se va adhiriendo en la película biológica existente en la superficie de los discos y además se pone en contacto con el aire. El exceso de biomasa se desprende de los discos, yendo a parar al sedimentador secundario.

Una consideración importante que es necesario tener con estos tipos de sistemas es la protección bajo la cual tienen que estar los biodiscos para evitar

Tabla 2.11: Eficiencias remoción Biodiscos

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	%	80-85
Sólidos Suspendidos	%	80-86
Nitrógeno	%	15-50
Fósforo	%	10-25

Fuente: Pérez, 2010.

La principal ventaja de este sistema es el bajo requerimiento energético, lo cual lo hace viable para pequeñas comunidades. Dentro de sus desventajas están que la planta requiere vigilancia constante, tendencia a generar olores y peligros de desequilibrarse si los esfuerzos del eje no se encuentran distribuidos uniformemente (Homsí y asociados Ltda., 2007).

2.2.2.5. Lombricultura o Lombrifiltro

Este sistema corresponde un biofiltro dinámico y está conformado por distintos estratos filtrantes inertes y orgánicos. En el estrato superior se tiene una alta densidad de lombrices y microorganismos encargados de efectuar la degradación de la materia orgánica presente en las Aguas Servidas Domésticas y Riles.

El funcionamiento de este sistema fue estudiado y creado por el Profesor Jorge Tohá y se basa en el metabolismo de las lombrices, las cuales son capaces de degradar la materia orgánica afluyente (aguas servidas crudas) liberando así nutrientes al medio. Además, estas mismas son las encargadas de producir un ambiente aerobio mediante los caminos o zurcos que realizan a lo largo de los lechos y la tendencia a la colmatación es controlada por las propias lombrices que se alimentan de la zooglea.

El sistema está compuesto principalmente de una cámara de rejillas, para retener el material grueso que llega, una trituradora y un sistema de dispersión de las aguas servidas sobre el lecho, el cual puede ser mediante aspersores o tubos perforados. Este lecho es de aproximadamente 1 m de altura y está compuesto por 3 capas, una capa de grava que juega el rol de soporte, una capa de viruta, que tiene la función de sustrato y la capa superior que corresponde a la tierra que contiene las lombrices. Las lombrices utilizadas son de la especie *Eisenia foetida* (comúnmente conocida como Roja Californiana), las cuales han demostrado dar buenos resultados debido varios factores, entre los cuales se encuentra su alta resistencia a cambios de temperatura y pH (rango funcionamiento 5-8), alta tolerancia a aceptar aglomeración, alta capacidad reproductiva. El agua tratada es recolectada por la parte inferior del lecho y a continuación pasa a la desinfección, que en el sistema original se realiza mediante radiación UV, pero experiencias en distintos lombrifiltros muestran que también es posible realizarla mediante la adición de hipoclorito de sodio en una cámara de contacto.

Tabla 2.12: Eficiencias de remoción Lombrifiltro

Parámetro	Unidad	Eficiencia
DBO	mg/l	95
Sólidos Suspendedos	mg/l	95
Nitrógeno	mg/l	60
Fósforo	mg/l	70
Coliformes Fecales	om	1

Fuente: www.lombrifiltro.cl

Respecto a las desventajas se pueden mencionar los altos requerimientos de terreno en proporción a su capacidad, la fuerte atracción de vectores sanitarios y la sensibilidad a cambios bruscos de entrada de materia orgánica (Morice, 2005; Pérez, 2010).

2.2.3.Lodos generados

Al momento de implementar una tecnología, es necesario considerar todos los subproductos que ella genera. En casi todos los procesos mencionados, se obtienen dos líneas de efluentes, una línea de aguas y otra de lodos. Respecto a la cantidad de lodos que generan las tecnologías, en la Tabla 2.13 se presenta un resumen de éstas:

Tabla 2.13: Producción de lodos según tipo de tratamiento

Tratamiento	g/hab/día
Lagunas aireadas	25
Fosas Sépticas	25
LAAE	45
Sedimentación primaria	50

Fuente: Becerra, 2003.

2.2.4. Marco regulatorio

Parte importante para caracterizar lo que sucede actualmente en el país con las aguas servidas en zonas rurales es establecer cuáles son las actuales normativas que regulan los requerimientos del efluente. En este sentido, se tiene que la Superintendencia de Servicios Sanitarios actualmente no tiene competencia en el sector rural, por lo que no fiscaliza lo que con ellas sucede, dejando toda la responsabilidad al Ministerio de Salud para la autorización y los controles de calidad correspondientes.

DS N 90/2000. CONAMA. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

Aplicable para el caso que la descarga supere en uno o más parámetros la carga contaminante media diaria. Para el caso de las descargas de efluente en las zonas rurales del país, éstas principalmente se realizan a cuerpos superficiales sin capacidad de dilución, por lo que debieran cumplir lo indicado en la tabla 1 de la norma.

Es importante destacar que esta norma se encuentra en revisión, donde ya existe un anteproyecto aprobado, el cual presenta varias modificaciones respecto a la norma del año 2000. Respecto a la tabla 1, las modificaciones que presenta son las que se indican en la Tabla 2.14

Tabla 2.14: Modificaciones en tabla 1 DS 90

	Tabla 1	
mg/l	DS N°90 Of 01	Anteproyecto
Cobre Total	1	2
Fósforo Total	10	15
NKT	50	80
Cloro Residual Libre	-----	0,5

Con lo anterior, se tiene que la modificación a la actual normativa permite una mayor concentración de todos los parámetros mencionados, además de agregar el cloro residual libre.

DS N 46/2002 CONAMA. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a través del suelo hacia las zonas saturadas del acuífero mediante obras de infiltración.

De la misma forma que el DS N°90, esta norma es aplicable para el caso que la descarga supere en uno o más parámetros el equivalente a la carga contaminante media diaria. En este caso, se requiere evaluar la vulnerabilidad de acuífero para saber qué tabla de parámetros es la que se debe cumplir.

Decreto 236/2004. Ministerio de Salud Reglamento general alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias

Esta normativa aplica a todas aquellos lugares del país, tanto públicos como particulares, que no puedan ser conectadas a servicios de alcantarillado. En él, se plantea que la descarga a cuerpos superficiales de agua debe cumplir con que el efluente tenga una concentración de coliformes fecales inferior a 1.000 NMP/100ml y libre de materia orgánica putrescible.

Además, detalla los distintos tipos de soluciones particulares, especificando la forma de construcción, tiempo de retención hidráulico, entre otros.

Decreto N 4/2010.CONAMA. Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas

Este decreto tiene por objetivo regular el manejo de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas. Para esto, establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos. En él se establecen los requisitos que deben cumplir los lodos para que logren ser estabilizados, lo cual define una reducción del 38% como mínimo en cuanto a sólidos volátiles. Aún así, para el caso que no se cumpla lo anterior, tanto para el caso de la digestión aeróbica como anaeróbica es posible demostrar la reducción de atracción de vectores mediante pruebas de digestión adicional de lodos a escala de laboratorio.

Además, se establecen los requisitos que deben cumplir los lodos para ser caracterizados como tipo A o B, lo cuales son los que se presentan en la Tabla 2.15:

Tabla 2.15: Características Lodos Clases A y B

Parámetro	Clasificación Lodos	
	Clase A	Clase B
Características	Lodos sin restricción sanitaria para aplicación al suelo CF:1000 NMP/gr mat. seca	Lodo apto para aplicación al suelo con restricción sanitaria según cultivo CF: 2.000.000 NMP/gr mat. seca
Requisitos microbiológicos	o Salmonella < 3NMP/4gr Huevos de Helminto < 1/4gr	

Otro punto importante que considera el presente reglamento es acerca del manejo sanitario de los lodos, donde indica que toda planta de tratamiento debe contar con un sistema de ingeniería que dé cuenta de manejo de los lodos en todas las etapas del proceso, desde su generación hasta su disposición final pero

para el caso de plantas que sirvan a una población menor a 2.500 habitantes o equivalentemente tengan una producción de lodos inferior a 1000 kg de materia seca, la Autoridad Sanitaria podrá eximir las de cumplir esto.

Nch 1.333/Of 78. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

Los inicios del tratamiento de las aguas servidas rurales apuntaban a una reutilización del recurso hídrico en riego debido a su alto contenido en nutrientes. Para ello, es necesario que el efluente cumpla con lo dispuesto en el Punto 6 de esta norma: Requisitos de agua para riego, donde se distinguen tanto requisitos químicos (Punto 6.1) como bacteriológicos (Punto 6.2). Para el primer punto se exige control del pH, concentraciones máximas de ciertos elementos químicos (ver Tabla 1 de la Norma), razón de adsorción de sodio, conductividad específica y sólidos disueltos totales (ver Tabla 2) y pesticidas. Para el punto 6.2, se estipula que *“el contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de frutas y verduras que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menos o igual a 1.000 coliformes fecales/100 ml”*.

2.2.5. Análisis económico de proyectos y tarifas asociadas al tratamiento de aguas servidas

En la actualidad, en el país existe un instructivo realizado por MIDEPLAN en el año 2008 que indica las pautas a seguir al momento de analizar proyecto de alcantarillado y aguas servidas en zonas rurales (Anexo B). Principalmente, este instructivo considera los siguientes puntos:

- Diagnóstico de la situación actual y futuras demandas para un horizonte de 20 años.
- Estudio de selección y análisis de alternativas considerando que la mejor alternativa es aquella que presente los menores valores actuales de costos totales (costos de inversión, reinversión, operación y mantenimiento)
- Informe de la DOH acerca de la capacidad de asumir mayores consumos por parte del APR
- Evaluación Económica del Proyecto, considerando valores referenciales determinados en instructivos (ver detalles en instructivo anexo)
- Certificado de la SISS que el terreno no está dentro de los planes de desarrollo
- Certificado del organismo responsable de la administración del agua potable que indica que asumen la responsabilidad operación y mantenimiento y con un detalle de la situación de tarifas y morosidad.
- Presupuesto detallado del diseño
- Términos de Referencia del Diseño, indicando todas las alternativas técnicamente factibles y que éstos demuestren ser sustentables en el tiempo desde el punto de vista de los costos, de modo que la tarifa calculada en base a los costos permita sustentar los gastos de operación y mantenimiento

Respecto a la elección de la mejor alternativa, según este instructivo debe realizarse de acuerdo al mínimo costo total, considerando inversión inicial, reinversión, operación y mantenimiento. Para esto, el indicador más utilizado es el Costo Anual Equivalente, que corresponde al costo anual que equivale a la inversión inicial realizada.

Considerando un horizonte de evaluación de 20 años, la fórmula que permite su cálculo es la siguiente:

$$VAC = \sum_{i=1}^{20} \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$CAE = VAC \cdot \left[\frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad \text{Ecuación 2.3}$$

VAC: Valor Actual del flujo de los Costos

CAE: Costo Anual Equivalente

C_i : Costos totales en el año i

r : Tasa de descuento (%)

n : Horizonte de evaluación

Relacionado con los problemas en la fijación y pago de la tarifa, se sabe que un objetivo básico de las Cooperativas y Comités a cargo de la gestión de Saneamiento es el financiamiento de los costos de Operación de capitalización para reposiciones, lo cual se debe efectuar a través del pago de la tarifa por parte de los usuarios (Chile, Ministerio del Interior, 2009) Si esto no sucede de la forma adecuada, se tiene como consecuencia una merma en la capacidad de autofinanciamiento de los puntos anteriores.

Para el tratamiento de las aguas servidas, una propuesta de tarifa es lo planteado por el Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales (2009), donde se considera la siguiente metodología de cálculo:

1. Cálculo del Costo Promedio Anual de los siguientes ítems:
 - Costos de Administración
 - Costos de Operación:
 - Consumo de Energía Eléctrica
 - Consumo Productos Químicos
 - Costos de Mantenimiento
 - Costos de Mejoramiento
2. Estimación de gastos promedios mensuales
3. Determinación de la Tarifa Mínima considerando los Costos Mensuales Totales y un fondo de Reposición
 - Costos Mensuales Totales (CMenT) 100%
 - Fondos de Reposición (FRep) 25%CMenT

Tarifa Mínima Mensual $CMenT + FRep$

A modo de ejemplo, para el caso de la tarifa mínima mensual para los lodos activados, considerando una densidad de 4 hab/viv y un consumo promedio de 10 m^3 por unión domiciliaria, se tiene lo presentado en la Tabla 2.16:

Tabla 2.16: Cálculo Tarifa Mínima Mensual por m³ en Lodos Activados

Población	Costo Mensual	N° de uniones domiciliarias (UD)	Tarifa mínima por UD (\$)	Tarifa mínima por m³ (\$)
873	2.506.103	219	11.443	1.144
1.375	2.889.110	344	8.399	840
1.478	2.928.730	370	7.915	792
2.843	3.356.022	711	4.720	472
3.687	3.802.244	922	4.124	412
4.250	4.052.012	1.063	3.812	381
5.036	3.582.767	1.259	2.846	285
6.445	3.989.319	1.612	2.475	247

Fuente: Chile, Ministerio del Interior, 2009.

De la tabla anterior, se desprende que esta tecnología posee una economía de escala, ya que los costos por m³ de agua tratada bajan considerablemente al aumentar la población a sanear. Esta condición se vuelve fundamental a la hora de evaluar la construcción de estas plantas en poblaciones con bajo número de habitantes, por lo que en el Capítulo de Discusión se abordará con más detalles.

Por el lado de la demanda de este servicio, se encuentra la disposición a pagar por los usuarios del sistema, lo cual constituye un elemento que no puede dejarse de lado debido a que ello permite analizar si la tarifa a proponer tendrá aceptación entre los beneficiarios. Para esto, existen antecedentes de modelos que han sido usados con el fin de determinar estos valores, tal es el caso del Modelo del Valor Contingente, que consiste en un método directo que por medio de encuestas, estima la valoración que otorgan las personas a los cambios en el nivel de bienestar, asociados a modificaciones en las condiciones de oferta de un bien ambiental. La ventaja de este método frente a otros es que determina directamente la disposición a pagar sin especular sobre el comportamiento de las personas (Errázuriz, 2004).

El año 2004, Errázuriz realizó un estudio basado en este método con el fin de calcular la disposición a pagar por las aguas servidas en las zonas rurales de Chile. Para ello, se efectuaron una serie de pasos que incluyeron la realización de un focus group para validar las preguntas a realizar, un estudio en terreno con la aplicación del cuestionario a familias de varias regiones del país, el procesamiento de la información obtenida y finalmente el cálculo de la disposición a pagar. Además se consideraron 2 grupos de poblaciones a analizar: aquéllos sin solución de saneamiento (escenario 1) y aquéllos con sistema de recolección de aguas servidas pero sin planta de tratamiento (escenario 2). A partir de esto, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 2.17:

Tabla 2.17: Resumen de disposición a pagar para ambos escenarios

DAP	Escenario 1	Escenario 2
Promedio	\$ 4.165	\$ 2.047
Mínimo	\$ 1.381	\$ 525
Máximo	\$ 9.134	\$ 4.844

Fuente: Errázuriz, 2004.

En el Capítulo de Discusión se realizará el análisis a los valores obtenidos tanto en la tabla anterior como a los valores de tarifa mínima de la Tabla 2.16 y cómo éstos se relacionan con los valores reales que se pagan.

2.2.6.Problemas actuales del Saneamiento Rural en Chile

Luego de 46 años del inicio del programa que permitió dotar de agua potable a la zona rural concentrada del país, se presentan varias situaciones que merman la posibilidad de crecimiento y buen funcionamiento del sistema:

- No existe normativa específica que las regule
- No existe organismo fiscalizador en el sector sanitario rural
- Falta de institucionalidad para las aguas servidas en el sector rural
- Inserción de sistemas APR en zonas urbanas
- Regularizar e incentivar los subsidios a la demanda e inversión
- Falta de regularización de terrenos y derechos de agua a favor de los servicios de APR

Fuente: Chile, Ministerio de Obras Públicas, 2010.

Todos los puntos anteriores fueron los que motivaron a legislar acerca del saneamiento rural del país, proyecto que ha sido discutido en el Congreso Nacional y que en la actualidad se encuentra en revisión.

2.2.7.Proyecto de Ley de Agua Potable Rural

El proyecto de ley contempla la creación del Departamento de Saneamiento Rural entidad que dependerá de la Dirección de Obras Hidráulicas y sus objetivos principales apuntarán a regularizar la situación actual en la que se encuentran los Comités y Cooperativas tanto en agua potable como en aguas servidas.

Respecto a las aguas servidas, dicha entidad tendrá entre sus funciones ejecutar la política de asistencia y promoción conforme lo instruido por el MOP, estudiar alternativas tecnológicamente apropiadas, especialmente respecto de la recolección y tratamiento de aguas servidas y formular los programas de servicios sanitarios rurales y sus respectivos proyectos, debiendo evaluarlos técnicamente (Chile, Ministerio de Obras Públicas, 2010)

En forma adicional a lo anterior, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, fiscalizará los servicios sanitarios que operen en las zonas rurales, verificando el cumplimiento de la normativa de agua potable y de fuentes emisoras en el caso que las localidades cuenten con alcantarillado y tengan una población mayor a 100 habitantes. Además propondrá valores para la fijación de tarifas tanto en agua potable como aguas servidas.

3. TRABAJO EN TERRENO

Este capítulo comprenderá el trabajo en terreno realizado en las tres regiones de estudio, de modo de poder evaluar plantas de tratamiento de aguas servidas de los servicios seleccionados y también conocer la situación y soluciones adoptadas por aquellas poblaciones donde no existe recolección y tratamiento.

3.1. Situación de las regiones en estudio

El catastro de tratamiento y posterior propuesta de tratamiento estará acotado a la zona central de Chile, específicamente a las zonas rurales con servicios de Agua Potable Rural (APR) de las regiones IV, RM y VI. Esto, debido a que la similitud que ellas presentan en cuanto a clima y población, permite replicar la solución de tratamiento que se encuentre en las regiones sin mayores variaciones. Además, la cercanía permite un mayor acceso a las plantas de tratamiento de aguas servidas por visitar.

En la Figura 3.1 se presenta la ubicación general de las regiones analizadas:

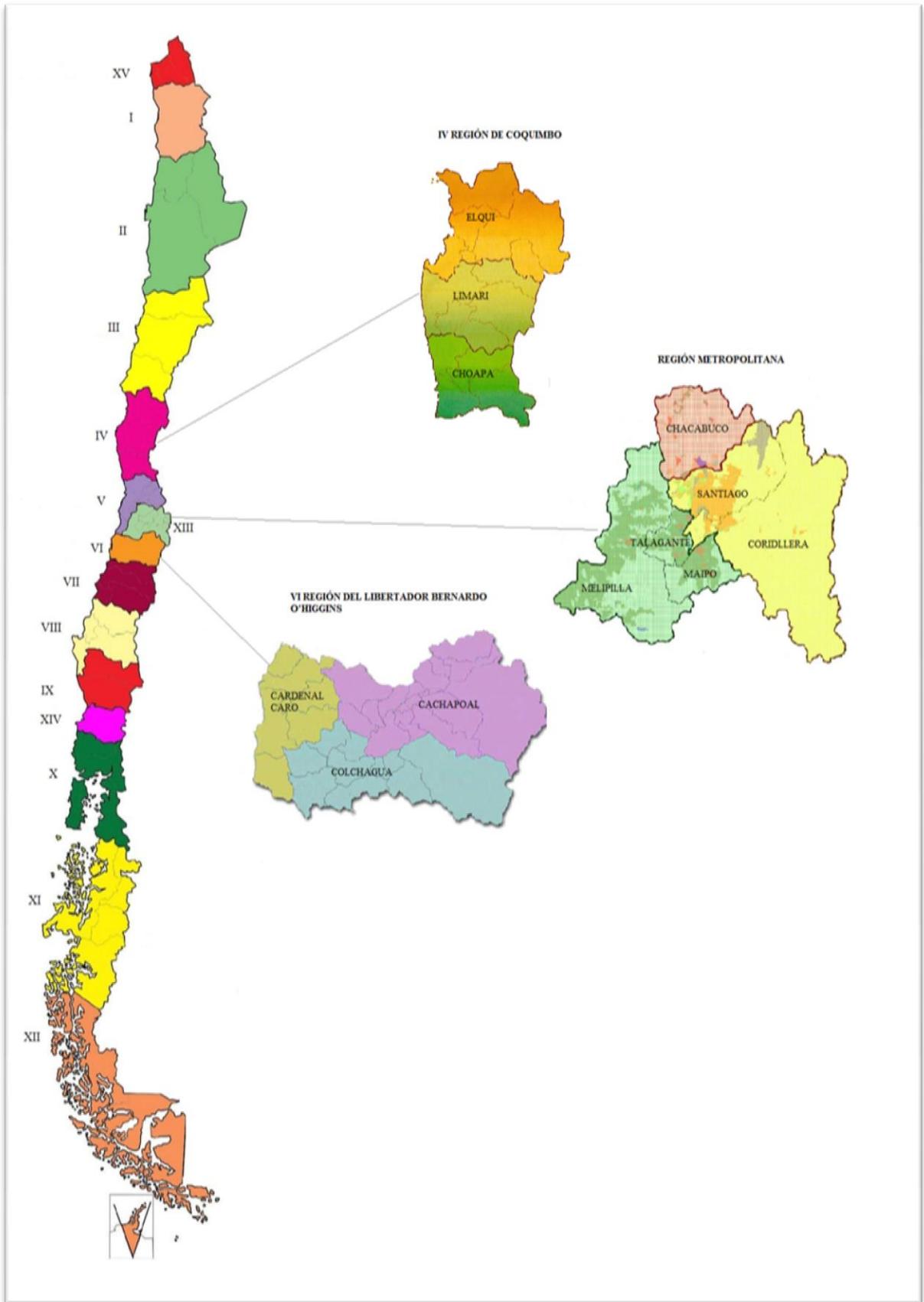


Figura 3.1: Localización de las regiones estudiadas

A partir de la información entregada tanto por la Superintendencia de Servicios Sanitarios como por la Dirección General de Obras Públicas se tiene el siguiente catastro de plantas para las regiones de Coquimbo, Metropolitana y de O'Higgins:

Tabla 3.1: plantas de tratamientos de aguas servidas asociadas a APR's por región

Región	Total de PTAS en APR's	Porcentaje respecto del total del país
Coquimbo	29	15%
Metropolitana	20	10%
O'Higgins	39	20%
Total	88	45%

Fuente: Elaboración propia

Considerando el tipo de tecnología utilizada en las 3 regiones en estudio y los antecedentes del catastro existente muestran lo indicado en Tabla 3.2

Tabla 3.2: Tecnologías implementadas en las regiones de estudio

Región	Tecnología utilizada						
	LAAE	Lombrifiltro	Humedal	Fosa séptica y pozo	Biofiltros	Biodiscos	Laguna
Coquimbo	28	1					
Metropolitana	16				2	2	
O'Higgins	27	3	4	4			1

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definidas las plantas de tratamiento existentes, fue necesario conocer la población que sanean estas plantas y el tipo de tecnología que utilizan. Dado que la información se encuentra a partir del número de arranques de agua potable y/o uniones domiciliarias de aguas servidas, es necesario conocer la densidad poblacional rural por región para poder determinar en forma estimativa la población que descarga a cada planta de tratamiento. Para esto, a partir de la información del CENSO realizado el año 2002, se llegó a lo que muestra la Tabla 3.3:

Tabla 3.3: Densidad poblacional rural por región

Región	TOTAL		DENSIDAD
	Población	Viviendas ocupadas	N° habitantes/viv. ocupada
Coquimbo	132.288	38.007	3,5
Metropolitana	186.172	46.527	4,0
O'Higgins	232.043	59.630	3,9

Fuente: Elaboración propia

Con esto, más la información tanto del MOP como la Superintendencia de Servicios Sanitarios fue posible crear rangos de habitantes y con esto agrupar a las poblaciones para obtener el número de plantas asociado a cada uno de ellos.

Tabla 3.4: Número de plantas por rango de habitantes

Rango habitantes	N° plantas
0-500	8
500-1500	26
1500-3000	25
3000-5000	6
5000-6500	1
Sin Información	22
Total	88

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 3.4 se deduce que la población con mayor número de plantas de tratamientos son aquellas que se encuentran entre los 500 y 3.000 habitantes, razón por la cual, este criterio se vuelve relevante a la hora de la elección de las plantas a visitar y por consiguiente, en la alternativa de solución a proponer.

Ahora, si además se considera el tipo de tratamiento que poseen las plantas para los diferentes rangos de habitantes, se llega a lo que se muestra en la Figura 3.2:

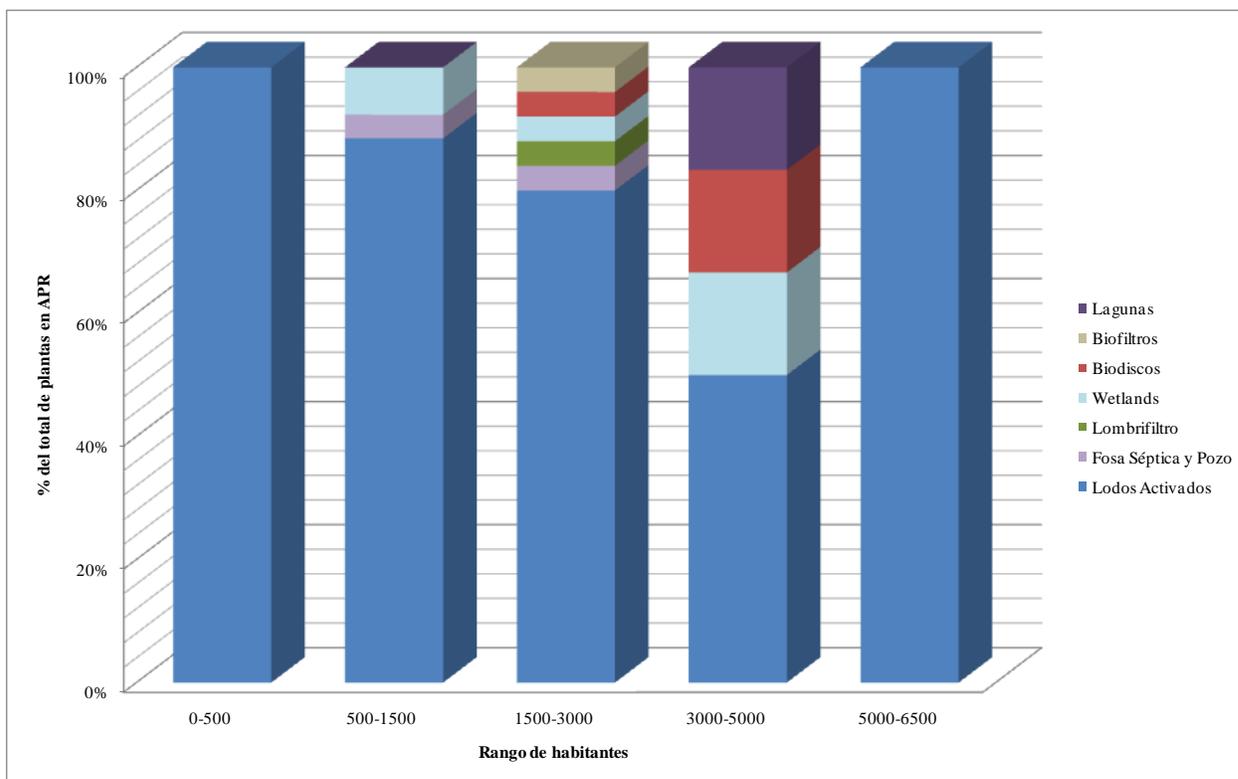


Figura 3.2: Distribución tipo de tecnología para rangos de habitantes

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se deduce que en el rango entre 1.500 y 5.000 habitantes es donde existe la mayor diversidad de sistemas de tratamiento pero nunca supera el 50% del total de plantas, ya que en la totalidad de intervalos de habitantes, la tecnología más utilizada es la Lodos Activados modalidad Aireación Extendida (LAAE). Esta última situación se vuelve relevante al momento de analizar los costos económicos de esta tecnología y su dependencia del número de habitantes que abastece, que será abordado en el Capítulo de Discusión.

Tomando todo lo anterior como antecedentes de las regiones en estudio, se detalla a continuación las visitas realizadas durante diciembre de 2010 y abril de 2011.

3.2. Diagnóstico de las plantas de tratamiento seleccionadas

Entre los meses de Noviembre de 2010 y abril de 2011 se realizaron salidas a terrenos en las regiones mencionadas con el fin de catastrar en forma cualitativa las plantas de tratamiento en las zonas rurales y en el caso que existiera información, obtener datos de análisis cuantitativo de ciertos parámetros (DBO₅, SST, NT, PT CF), gastos mensuales y tarifas cobradas por los diferentes APR's. Es importante destacar que algunas de estas salidas fueron gestionadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la cual también se encuentra realizando un catastro preliminar con el fin de anticiparse a sus futuras responsabilidades en este tema debido a la entrada en vigencia de la nueva normativa mencionada en el capítulo anterior.

El criterio de selección para las visitas fue basado considerando los siguientes antecedentes:

- Diversidad de tecnologías de tratamiento
- Analizar variadas realidades de funcionamiento y estado de las plantas
- Conocer en forma adicional la realidad de APR's sin recolección y tratamiento de aguas servidas

Considerando todo lo anterior, a continuación se presentan las características de los sistemas de APR visitados:

3.2.1.IV región de Coquimbo

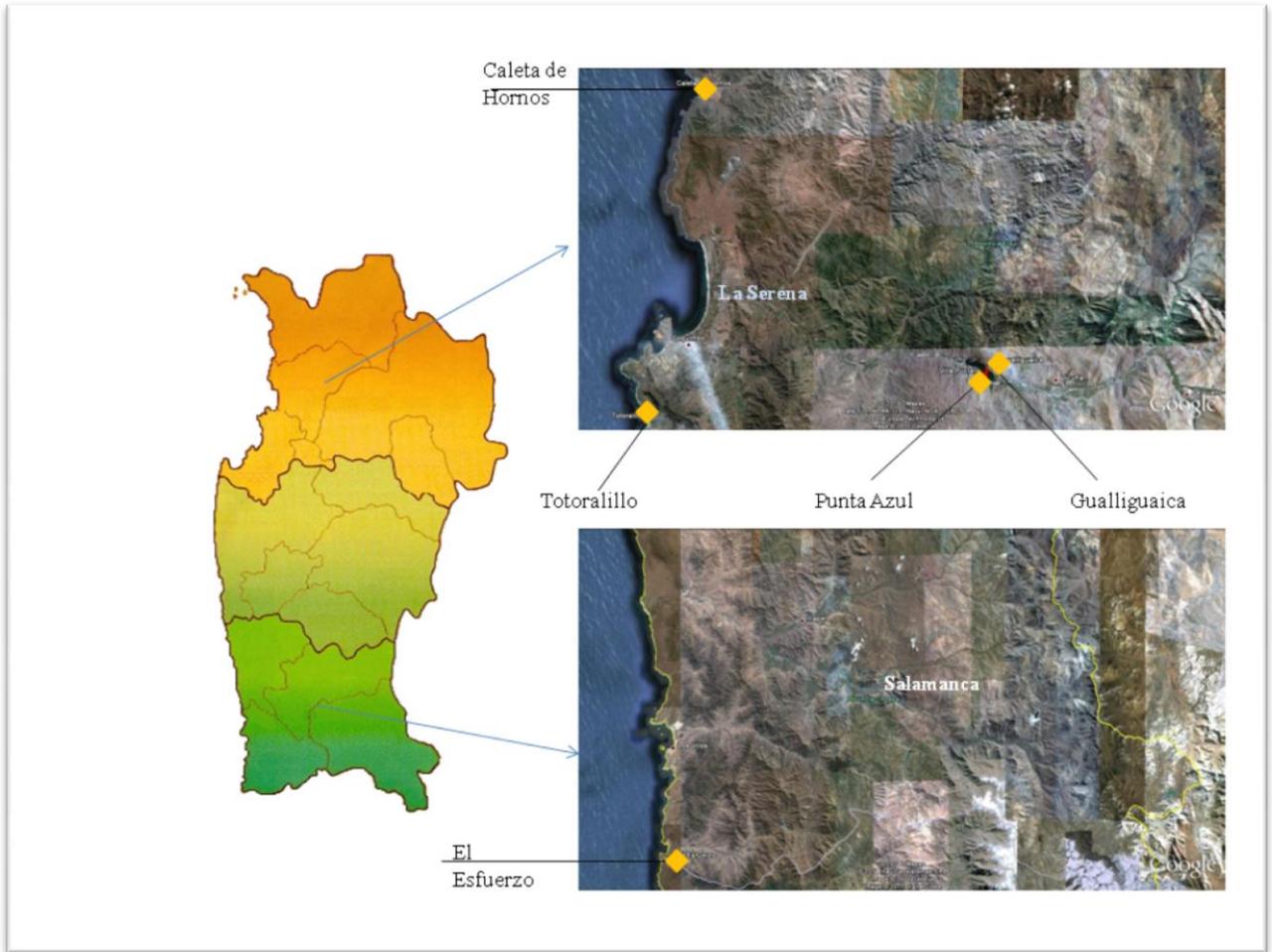


Figura 3.3: Ubicación de APR's visitados en la Región de Coquimbo

Fuente: Google Earth

3.2.1.1. APR Punta Azul

Ubicación y antecedentes generales

Poblado ubicado en la comuna de Vicuña y corresponde a la unión de 2 pueblos (Punta Azul y La Pólvara) que fueron reubicados producto de la construcción del Embalse Puclaro. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 30° 1.148'S, Longitud: 70° 49.837'O.

Esta zona cuenta con un Comité que administra el sistema de Agua Potable Rural desde el año 2001 y cuenta con 112 arranques.

Diagnóstico general de las aguas servidas

Junto con la construcción del nuevo poblado, se construyó sistema de alcantarillado y planta de tratamiento para la totalidad de las casas, por lo cual se cuenta con 112 Uniones Domiciliarias. El tratamiento que utilizan es del tipo Lodos Activados, provisto por la empresa SIPRA y en la actualidad

funciona en forma bastante deficitaria, aún cuando de acuerdo a lo comentado se le realizaron mejoramientos en el año 2008.



Figura 3.4: Vista general planta de tratamiento de Punta Azul

El pretratamiento está compuesto por una cámara de rejas gruesas que retiene los sólidos existentes en las aguas servidas que llegan por gravedad a la planta y que son retirados por un canasto en forma manual. En este punto, también existe un sistema by-pass que permite el desvío del agua en casos de emergencia.

El tratamiento secundario consta de un estanque de aireación con dos sopladores que debieran funcionar en forma intermitente pero en la actualidad sólo 1 de ellos se encuentra en funcionamiento. En el estanque es posible observar la presencia de bulking, lo cual se reafirma con lo dicho por el operador, quien ha podido visualizar bacterias del tipo filamentosas.

Otro punto importante de notar es el control indirecto que el operador realiza en forma periódica del IVL en el estanque de aireación. De acuerdo a lo comentado por él, y tal como se muestra en la foto del anexo D, lo que observan es el volumen sedimentado en un litro de lodo luego de 30 min, valor que debe estar alrededor de 300 mg/l según las indicaciones de la empresa proveedora del sistema. En el caso que este valor aumente, el operador debe aumentar la purga de lodos.

El sedimentador secundario tiene la particularidad de poseer unas láminas de fibra de vidrio que forman un cuadrado en el centro de éste con el fin de retener parte de los sólidos que no fueron detenidos en el sistema de rejillas (ver fotografías Anexo C), además de los “skimmer” que retienen los sólidos flotantes. Aún así, mediante lo observado se tiene que estos sistemas no son suficientes.

La desinfección se realiza con Hipoclorito de Sodio, que es inyectado en forma automatizada por un dosificador a un balde, donde se observa la presencia de sólidos pequeños. Respecto a la cantidad aplicada, no existe conocimiento ya que el operador sólo se imita a mezclar el cloro en polvo siguiendo las indicaciones de la empresa proveedora de los insumos químicos. Posteriormente, el agua clorada es infiltrada al suelo mediante drenes.

En cuanto a la línea de lodos, se tiene que lo recolectado en el fondo del sedimentador es enviado al digestor aerobio, donde al lodo se le agrega oxígeno mediante difusores por alrededor de 20 días antes de ser enviado a las canchas de secado. El día de la visita fue posible constatar que el lodo se encontraba con un fuerte olor, de lo que se deduce que el lodo no se encuentra estabilizado.

Respecto a las canchas de secado, existen 2 de ellas dispuestas a la intemperie y donde sólo una funciona, puesto que, de acuerdo a lo dicho por el operador, deben dejar una libre para casos de emergencia. En la cancha que se encontraba en funcionamiento, el color verde del lodo hace presumir la presencia de algas. El operador no tenía claridad acerca de cuánto tiempo el lodo estaba en las canchas de secado pero en promedio era cerca de un mes, y luego éstos son dispuestos en sacos que se encuentran en el mismo recinto de la planta, puesto que no tienen autorización para disponerlos en vertederos.

Costos y Cobros asociados

El costo de inversión del proyecto completo, vale decir, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas, alcanzó un valor \$103.483.500, lo que actualizado al año 2010 equivale a \$149.453.394. Respecto a los cobros de operación y mantención que realiza el Comité actualmente, sólo se cobra un cargo fijo asociado a la recolección y tratamiento de aguas servidas, el cual es de \$3.000 mensuales y se reajusta alrededor de \$500 cada 2 años, previa aprobación por todos los socios del Comité.

Problemas encontrados y comentarios

En la actualidad la planta funciona en forma deficitaria. El Ministerio de Salud les ha cursado multas tanto por la operación de ella (problemas con los tableros electrónicos y fallas de diseño en el sistema de rejillas) como por estar sobre la norma en cuanto al control bacteriológico (ver anexos con control de esto último). De acuerdo a lo conversado con la secretaria administrativa del Comité, dice que la planta nunca ha estado operativa al 100 % ya que siempre ha presentado problemas, lo que se suma a la gran rotación de operadores producto de esto mismo, debido a que no existe ningún tipo de capacitación hacia ellos.

Respecto a la generación de lodos, los entrevistados comentan que han tenido capacitaciones acerca de los posibles usos de éstos como abono, pero que al intentar certificarlos han quedado atrapados por el alto costo que representa para el Comité.

Otro de los problemas es la automatización completa de los sistemas de bombeo, dosificación de cloro, etc., por lo que al interrumpirse esto por los minutos de descanso de las bombas, todo el sistema se detiene.

3.2.1.2. APR Gualliguaica

Ubicación y antecedentes generales

Al igual que el poblado anteriormente descrito, éste también fue reubicado al construirse el Embalse Puclaro y encuentra en un costado de él pero en el lado norte. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 30° 0.236'S y Longitud: 70° 49.001'O.

La administración del Agua Potable Rural es mediante un Comité, el cual existe desde año 2001 y abastece de agua a 120 viviendas.

Diagnóstico general de las aguas servidas

De forma similar a lo que sucede en el poblado de Villa Puclaro (APR Punta Azul) la reubicación del pueblo contempló la construcción de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas. La empresa proveedora del sistema es Hidragua, la cual consideró una planta del tipo Lodos Activados con una capacidad de 77 m³/día.



Figura 3.5: Vista general planta de tratamiento Gualliguaica

Las aguas servidas ingresan por gravedad al pretratamiento, que consiste sólo en un pequeño canastillo dispuesto sobre una base (tal como se observa en fotografías Anexo C) y donde la limpieza de él debe realizarse en forma manual.

El tratamiento secundario está compuesto por 4 estanques de aireación que de acuerdo al operador se encuentran en serie, pero observando las características del proyecto, los estanques son ubicados en paralelo de modo de formar 4 líneas de lodos activados. Es posible observar que los difusores se encuentran en mal estado debido a que existen zonas de aguas muertas.

La sedimentación secundaria consiste en 2 estanques, donde se observó que no existe una buena sedimentación del lodo.

La desinfección se realiza en una cámara con una pared divisoria en la mitad que permite el paso del agua por el fondo del estanque., lo cual difiere bastante del diseño asociado a las cámaras de contacto. La desinfección se realiza mediante Hipoclorito de Calcio en polvo, que se mezcla de acuerdo a lo establecido por el proveedor.

El agua clorada es descargada mediante una tubería a un punto que en la actualidad se presenta como una acequia debido al bajo nivel del embalse, pero que en momentos donde éste se encuentra lleno se tiene que la planta descarga directamente al embalse.

Con respecto a la línea de lodos, una vez que el lodo se ha envejecido producto de las repetidas recirculaciones, es enviado al estanque de digestión aeróbica pero que la momento de la visita no se encontraba en funcionamiento.

La cancha de secado se encuentra varios metros más arriba de la planta, por lo que el lodo es impulsado mediante una bomba y una tubería diseñada en forma bastante precaria. Esta situación, se debe a que según lo comentado por el operador, la cancha fue diseñada posterior a la entrega de la planta, puesto que en el proyecto original, contemplaba que luego de 6 meses los lodos fuesen retirados por un camión limpiafosas. En ella, tal como se observa en la figura del Anexo C, el lodo se encuentran con una alta cantidad de humedad, por lo que al igual que en la planta de Punta Azul, hay presencia de algas. Sin embargo, dado a la alta radiación, éstos logran ser secados luego de aproximadamente 20 días.

Los lodos secos son dispuestos en sacos y quedan en el mismo recinto de la planta.

Costos y Cobros asociados

Los costos de inversión de esta planta ascendieron a aproximadamente \$100.000.000, lo cual equivale a un costo actualizado de \$142.765.401. En la actualidad el Comité sólo cobra un cargo fijo de \$2500 mensual por la recolección y tratamiento de aguas servidas, lo que, de acuerdo a lo comentado por la secretaria, y tal como se discute en el capítulo siguiente, no permite el autofinanciamiento de la planta en cuanto a los gastos de mantención y operación.

Problemas encontrados y comentarios

De acuerdo a lo comentado por las personas del Comité, la planta funcionó de forma adecuada sólo los primeros 10 meses de construcción, puesto que al llenarse el estanque, se observó el primer grave problema de diseño respecto a la cota donde descargaban los drenes, debido a que se encuentran por debajo de la cota de inundación del embalse. Por otro lado, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del Proyecto, y lo comentado por el operador, existe un estanque para disponer las aguas tratadas con el fin de posteriormente utilizarlas para riego por infiltración mediante tuberías porosas. Sin embargo, este sistema

no funcionó tanto por problemas de cota como por la disposición de las tuberías, ya que fueron ubicadas por debajo de la tierra.

Respecto a los difusores, se tiene que los del estanque de aireación se encuentran fijos al piso de éste, por lo que para poder repararlos (cosa bastante habitual de acuerdo a lo comentado por el operador) es necesario vaciar los estanques. Para el caso de los difusores del digestor aeróbico, también se tiene que varios de ellos se encuentran fuera de uso por lo que no se produce una buena digestión del lodo.

Además en ocasiones el alcantarillado recibe descargas de aguas de riego, que generan problemas de funcionamiento de la planta por dilución del afluente e ingreso de pesticidas que mata los microorganismos del licor mezclado.

Según lo comentado por el operador, existen descargas de aguas de riego que llegan al alcantarillado lo cual ha tenido dos consecuencias graves que han mermado el funcionamiento de la planta: la llegada de aguas servidas diluidas y la entrada de pesticidas.

En forma adicional, se observó que la planta no tiene un sistema by pass para el caso de emergencias así como tampoco cuenta con un grupo electrógeno de respaldo en caso que se corte la electricidad.

3.2.1.3. APR Totoralillo

Ubicación y antecedentes generales

Poblado ubicado en la zona costera de la región de Coquimbo, en el km. 449 de la Ruta 5 Norte, al sur de la ciudad de Coquimbo. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 32° 20,94'S. Longitud: 71° 31.249'O.

La administración del APR es mediante un Comité, el cual fue formado en el año 2008 y actualmente cuenta con 134 arranques de agua potable.

Diagnóstico general de las aguas servidas

En la actualidad el APR de Totoralillo no cuenta con un sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas, por lo que el saneamiento es en forma particular mediante fosas sépticas y también pozos negros. Para esto, cada persona debe costear la construcción de ellas y el Ministerio de Salud, de acuerdo al DS 236 da su aprobación. Con respecto a la limpieza de éstas, también se realiza en forma particular aproximadamente cada dos años mediante la contratación de camiones limpiafosas (costo aproximado de camión limpiafosas por persona \$15.000 por año ¹), razón por la cual se está gestionando con la Municipalidad de Coquimbo para que sea ella quien financie estas funciones.

¹ Fuente: Chile, Ministerio del Interior, 2009

En general la gente no está contenta con las fosas sépticas, pues la consideran una solución “contaminante” por lo que quieren una solución del tipo alcantarillado, aun cuando no están conscientes del costo que esto significa

3.2.1.4. APR Caleta de Hornos

Ubicación y antecedentes generales

Poblado costero ubicado a 36 km al norte de la ciudad de la Serena en la comuna de la Higuera, región de Coquimbo. Sus coordenadas geográficas son 29° 37.399' latitud Sur y 71° 17.107' longitud Oeste.

La administración del Agua Potable Rural está presidido por un Comité, el cual funciona desde el año 1995 y cuenta con 365 arranques.

Diagnóstico general de las aguas servidas

El 90% de las viviendas con arranques de agua potable del poblado de Caleta de Hornos cuenta con recolección y tratamiento de aguas servidas desde el año 2007, lo que es equivalente a un total de 328 uniones domiciliarias (aproximadamente 1.142 personas)

La tecnología utilizada corresponde a la de Lodos Activados modo Aireación Extendida (LAAE), la cual, al igual que el alcantarillado, fueron financiados por el programa Chile Barrio y su administración fue traspasada al Comité.



Figura 3.6: Vista general planta de tratamiento Caleta de Hornos

La planta de tratamiento se encuentra ubicada en una zona alejada de la población, donde el agua llega mediante bombas que la impulsan. En la entrada a la planta, no existe medidor de caudal, pero de acuerdo a mediciones realizadas por Aguas del Valle han obtenido valores de caudales de 80-100 m³/d (para invierno y verano respectivamente).

El pretratamiento está compuesto por un sistema de rejas automatizado que elimina los sólidos de mayor tamaño y que se encuentra en buenas condiciones.

En el tratamiento secundario, el estanque de aireación tiene un buen funcionamiento de los difusores y existen 2 sopladores que funcionan de manera intercalada, ambos en buen estado.

En el sedimentador secundario existe una buena decantación del lodo, quedando en la superficie el agua clarificada que pasa mediante los vertederos triangulares a los costados a la cámara de contacto.

La desinfección del efluente líquido se realiza mediante hipoclorito de calcio. La dosis aplicada no es manejada por el operador y sólo tienen conocimiento de la mezcla del cloro en polvo con agua. Una vez que se ha clorado el efluente, infiltra mediante drenes al terreno.

Por el lado de la línea de lodos, los lodos obtenidos del sedimentador secundario son enviados a un espesador mecánico para posteriormente ser trasladados a la cancha de secado.

En la visita se constató una alta humedad en los lodos (ver fotos en anexo C), situación que de acuerdo al operador se repite constantemente. Por esta razón, deben contratar a un camión limpiafosas para que en forma periódica retire los lodos y los disponga en el vertedero de Coquimbo.

Costos y Cobros asociados

El costo de inversión de la planta actualizado a diciembre del año 2010 es de \$291.094.897. Los cobros mensuales asociados al tratamiento de las aguas servidas son de \$3.400 por concepto de costo fijo por UD conectada, el cual es mayor al asociado al agua potable pero con la diferencia de que en el caso de las aguas servidas no se consideran los m³ dispuestos en el alcantarillado.

Problemas encontrados y comentarios

Al momento de la visita, la planta de tratamiento funcionaba bastante bien en su línea de aguas, mientras que la línea de lodos tenía serios problemas en la cancha de secado. Esto, debido a que existía un mal drenaje del agua de estos lodos. Es de suponer, que la razón de este problema se debió al mal diseño de la cancha, ya que el tamaño de la cancha es menor al que por diseño debiera ser (100 m³).

3.2.1.5. APR El Esfuerzo

Ubicación y antecedentes generales

La localidad de El Esfuerzo se encuentra en el límite sur de la Región de Coquimbo, muy cerca de la ciudad de Pichidangui. Las coordenadas geográficas son 32° 9.229' latitud Sur y 71° 30.645' longitud Oeste.

Esta localidad, está asociada al programa de agua potable rural mediante un Comité, el cual existe desde el año 1982 y que provee de agua potable a 350 viviendas.

Diagnóstico general de las aguas servidas

Desde junio del año 2006, en esta localidad existe recolección y tratamiento de las aguas servidas, lo cual fue gestionado por la Dirección de Obras Hidráulicas de la IV región a raíz de los problemas de algunas viviendas por el colapso de sus fosas sépticas.

La tecnología escogida para el tratamiento de las aguas del sector es de Lodos Activados con Aireación Extendida, con una planta construida bastante alejada de la zona más poblada, específicamente al norte de ella. La capacidad de diseño de la planta es de 440 m³ y actualmente se encuentran conectadas 300 viviendas.



Figura 3.7: Vista general Planta de tratamiento El Esfuerzo

La recolección de aguas servidas es impulsada por 2 bombas elevadoras, una ubicada al final de la recolección y otra que impulsa las aguas hacia el inicio de la planta de tratamiento.

El pretratamiento está compuesto por una cámara de rejas, seguido por un desengrasador y un ecualizador que cuenta con un difusor para mantener las aguas en suspensión y amortiguar las diferencias de carga. Las dimensiones de éste son de 4 m de ancho y largo y una altura de aproximadamente 5 m.

La planta cuenta con 2 líneas de trabajo, las cuales funcionan en forma paralela en los momentos donde existe alta carga, los cuales corresponden principalmente a los meses verano (aumento hasta en 100% de la población). Al momento de la visita, sólo se encontraba en funcionamiento una de las líneas, con lo cual se tenía un caudal medio diario de 120 m³.

El estanque de aireación está compuesto por 8 líneas de difusores, todos en buenas condiciones ya que no existen zonas de aguas muertas. Respecto al funcionamiento de los sopladores, los intervalos de funcionamiento y descanso tanto para el día como para la noche se manejan en forma adecuada.

Respecto al volumen de lodos sedimentados, tal como en la planta de Punta Azul, se realiza un control indirecto del IVL, observando el volumen sedimentado en una probeta con 1 lt de licor mezclado del estanque de aireación al cabo de 30 minutos. De acuerdo a lo comentado por el operador, este valor debe mantenerse entre 350 mg/l y 450 mg/l, aceptando un máximo de 500 mg/l. Al momento de la visita, el volumen sedimentado era de 460 mg/l, lo cual era un valor aceptable.

El agua en el sedimentador se observa bastante transparente y los elementos superficiales son retirados mediante “skimmers”.

El agua clarificada pasa a la cámara de contacto, donde a la entrada le es adicionada hipoclorito de calcio en una dosis de 3 mg/l, mediante dosificador automatizado y mezclado en un resalto creado en un balde, tal como se observa en la figura del Anexo C. Una vez que el agua pasa por la cámara, llega a una canaleta común para ambas líneas y donde se le adiciona metabisulfito de sodio con el objeto de dechlorar el agua y dejarla con un cloro residual de 1,5 mg/l. En este punto existen medidores en línea de pH, T° y oxígeno disuelto, datos que son registrados en forma diaria por el operador.

Finalmente estas aguas son enviadas a un estanque que se encuentra cerrado y que almacena temporalmente el agua antes de enviarlas mediante un dren a una quebrada que pasa por las cercanías de la planta (ver figuras en Anexo C).

Por el lado de los lodos, lo decantado en el sedimentador secundario es enviado a los digestores aeróbicos y ahí son aireados durante un mes y decantados por 2 días antes de ser enviados a la cancha de secado.

Los lodos en la cancha de secado son deshidratados por un periodo de 20 días en verano y 1 mes en invierno. Al momento de la visita se observó que los lodos eran de un color café oscuro por lo que se deduce que hubo una buena estabilización de ellos (ver foto anexo C).

Finalmente, los lodos son dispuestos en sacos y acumulados en la planta.

Costos y Cobros asociados

La construcción de la planta de tratamiento tuvo un costo de \$539.000.000, el cual fue financiado por instituciones del Estado. La mantención, tal como sucede con todos los APR's, se realiza mediante los cobros a los usuarios. En el caso de esta localidad se cobra un cargo fijo mensual de \$1.600 por UD más el 60% del agua potable consumida, donde el valor por m³ de agua está diferenciado por escalas de consumo.

Problemas encontrados y comentarios

En la actualidad la planta no presenta ningún tipo de problema y se encuentra en muy buenas condiciones, no tiene problemas ni en su línea de aguas ni en la línea de lodos y los operadores conocen a la perfección el tratamiento y funcionamiento de ella. Sin embargo, al inicio de la operación, los problemas fueron por el alto contenido de arenas en las aguas servidas, situación que fue solucionada con la adición del desarenador en el pretratamiento.

Además, la planta cuenta con un grupo electrógeno para el caso de que exista alguna emergencia que implique cortes de luz.

Respecto al control tanto bacteriológico como físico químico, se tiene que el APR no realiza ningún tipo de autocontrol del efluente, siendo el pH y T° los únicos parámetros que controlan en forma diaria. Respecto a la fiscalización, ésta se realiza en forma bianual pero sólo a nivel bacteriológico, detectándose un nivel de CF muy inferior al permitido por el DS N°90 tal como se observa en el Anexo D.

Otro punto que es de alta relevancia, es el importante apoyo que la comunidad recibió por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas, ya que se encargó de realizar reuniones con la comunidad para explicar las implicancias de poseer alcantarillado y educar a la población acerca de lo que se puede o no disponer en el sistema de recolección de aguas servidas.

3.2.2.Región Metropolitana

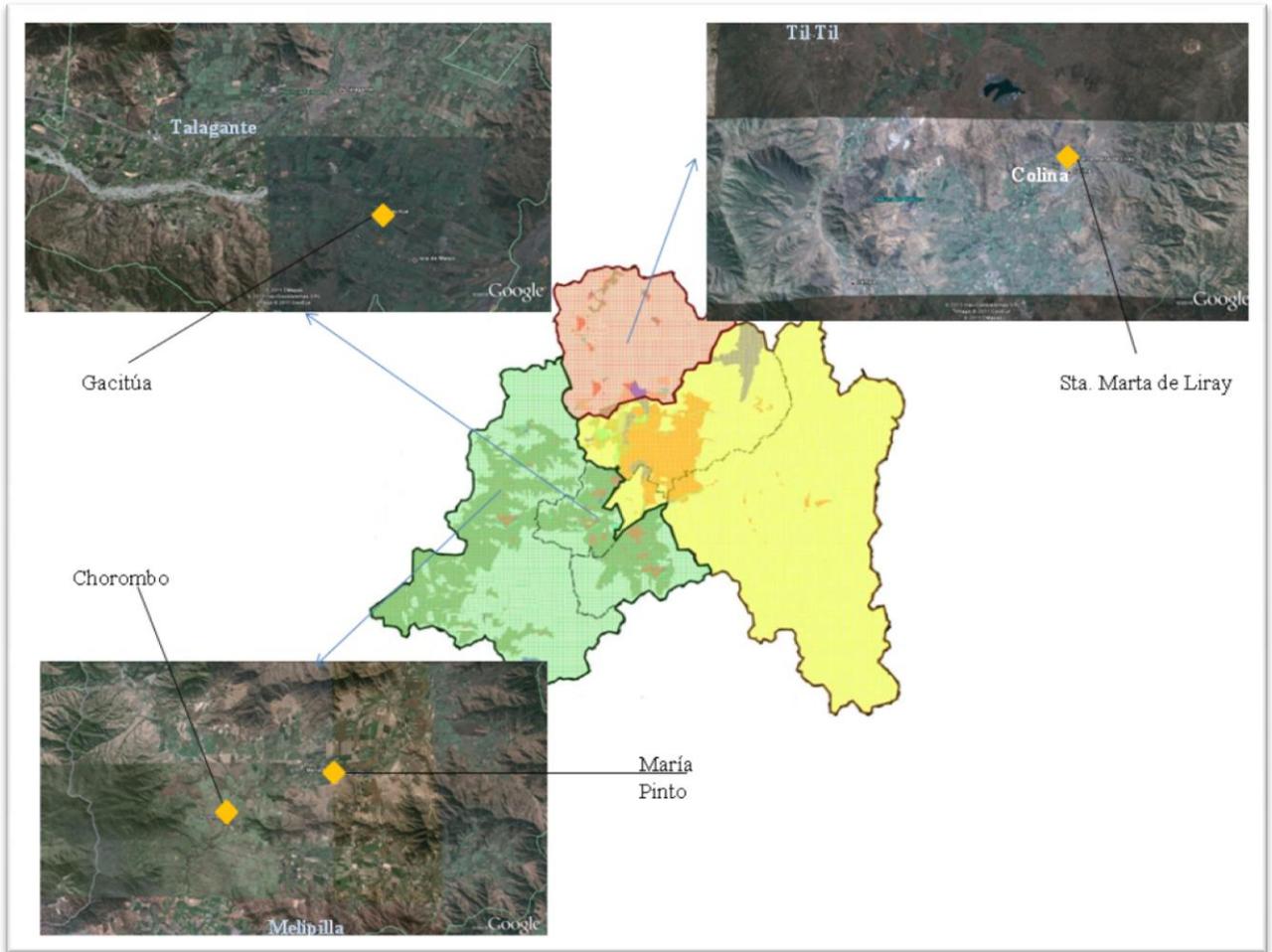


Figura 3.8: Ubicación APR's visitados Región Metropolitana

3.2.2.1. APR Santa Marta de Liray

Antecedentes generales y ubicación

La localidad de Santa Marta se ubica en el sector de Colina, al norte de la ciudad de Santiago. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 33° 11.381'S. Longitud: 70° 40.032'O.

El APR está presidido por un comité, el cual funciona desde el año 1985 y posee 436 arranques de agua potable, con un consumo promedio mensual entre 20 y 30 m³.

Diagnóstico general de las aguas servidas

En la actualidad este APR no cuenta con tratamiento de aguas servidas, por lo que sólo existen soluciones individuales, las cuales en su mayoría son fosas sépticas. En este caso, la Municipalidad mediante un convenio que realiza con la Junta de Vecinos se encarga de la contratación de camiones limpiafosas.

De acuerdo a lo conversado con la presidencia del Comité, el alcantarillado de Servicomunal pasa por fuera de las casas conectadas al APR, pero la empresa no deja conectarse.

3.2.2.2. APR Gacitúa

Antecedentes generales y ubicación

Esta localidad se ubica al sur poniente de Santiago, en la comuna de Isla de Maipo. Sus coordenadas geográficas son Latitud: 33° 43.947'S y Longitud: 70° 54.466'O.

Este APR tuvo sus inicios como Comité en el año 1991 pero desde hace dos años está presidido por una Cooperativa y posee 721 arranques de agua potable.

Diagnóstico cualitativo aguas servidas

En la actualidad, existe una planta de tratamiento de aguas servidas pero que abastece sólo a una parte de la población de Gacitúa, ya que del total de viviendas con arranques de agua potable, sólo 345 poseen unión domiciliaria. Este proyecto fue financiado y se encuentra a cargo de la Municipalidad de Isla de Maipo. Esta planta no pudo ser visitada, sin embargo al conversar con el presidente de la Cooperativa comentó que la planta fue diseñada sólo para viviendas que se encuentra en la Av. Gacitúa debido a los continuos problemas que presentaban producto del colapso de éstas.

La planta de tratamiento entró en funcionamiento el año 2007 y es del tipo Lodos Activados con Aireación Extendida. Se diseñó para una capacidad de caudal medio de 300 m³/d, considerando una población de 2.500 habitantes. De acuerdo a lo descrito por Pizarro (2011), se tiene que el operador sólo tiene un conocimiento general acerca del funcionamiento de la planta y que no se le han hecho las mantenciones requeridas.

Cobros y costos asociados

Dado que la mantención no está a cargo de la Cooperativa, no se tiene información respecto a los cobros mensuales que se les realiza a los usuarios. Con respecto al costo anual de la planta de tratamiento, se tiene que, de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto, éste al año de construcción ascendía a \$ 3.480.756, lo cual equivale a un costo promedio anual de \$3.804.466 (actualización de los valores realizada mediante la variación del IPC). Sin embargo, al comparar este valor con lo indicado por Pizarro (2011), se tiene que según lo dicho por el operador éstos son bastante menores ya que alcanzan un valor de \$1.000.000 mensual.

Respecto a los cobros no se tiene información de las tarifas que los usuarios pagan.

Problemas encontrados y comentarios

Actualmente esta planta se encuentra en muy malas condiciones, llegando al nivel de encontrarse prácticamente fuera de uso.

El gerente de la Cooperativa comentó que la Municipalidad les ha planteado en varias ocasiones que ellos asuman la responsabilidad de la operación y mantención de la planta, pero se han negado producto del estado en que ella se encuentra.

3.2.2.3. APR Chorombo

Antecedentes generales y ubicación

La localidad de Chorombo está ubicada a 40 km al poniente de la ciudad de Santiago, en la comuna de María Pinto. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 33° 32.883' S y longitud 71° 13.085'O.

El comité a cargo de la administración del programa de Agua Potable Rural nació en el año 1993, y cuenta con 545 arranques.

Diagnóstico cualitativo aguas servidas

Mediante el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) en el año 2004 se inició el diseño de la red de recolección y tratamiento de las aguas servidas, el cual considero sólo 240 viviendas incorporadas en el programa APR. El proyecto contempló la instalación de casetas sanitarias para estas viviendas y la conexión para el tratamiento de las aguas. La planta, cuya tecnología corresponde a la de SBR (Secuencial Batch Reactor por sus siglas en inglés) comenzó su operación en el año 2004 y fue construida por la empresa Cada Chile Ltda.



Figura 3.9: Vista General Galpón pretratamiento y deshidratado lodos



Figura 3.10: Vista general reactor y cloración planta de tratamiento Chorombo

El funcionamiento de la planta de tratamiento consiste en una cámara de entrada donde se encuentra una reja gruesa tipo canastillo. A continuación está la válvula by-pass, que permite cortar la entrada de aguas servidas a la planta en caso de problemas en ella y descargar directamente al estero Puangue.

El pretratamiento, tal como se mencionó anteriormente, se encuentra en un galpón techado y consiste en una planta compacta de pretratamiento, en la cual se retienen los sólidos más finos y un desarenador. Esta unidad no presenta problemas y se encuentra en muy buenas condiciones.

Luego siguen 2 estanques de aireación, donde se realizan las operaciones que regulan el principio de este tipo de plantas: **llenado, reacción (aireación), sedimentación, vaciado efluente y reposo** (Homsy y asociados Ltda., 2007). Tal como se puede inferir de los nombres de estos procesos, a diferencia de lo que sucede en los lodos activados, esta tecnología prescinde de sedimentador, ya que este proceso ocurre en el mismo estanque. El día de la visita la planta no se encontraba en funcionamiento debido a problemas con las válvulas y las bombas, por lo que las aguas servidas estaban acumuladas en ambos estanques, muy probablemente desde hace varios días producto de la presencia de algas en él (ver figuras Anexo C).

Siguiendo con la línea de aguas, lo recolectado por medio de tuberías de evacuación tipo T dispuestas en los estanques de aireación, se lleva a la desinfección, la cual a diferencia de lo que sucede en las otras plantas, donde la desinfección es mediante hipoclorito de sodio o calcio, ésta es en base a radiación UV. Al no estar en funcionamiento la planta, este proceso estaba detenido. Además, estaban a la espera de reponer las lámparas debido a que con el mal funcionamiento de las válvulas, lodo entró a la línea de desinfección, dejándolas fuera de uso.

Por el lado de la línea de lodos se tiene que lo recolectado en el fondo de los estanques de aireación es enviado a un espesador gravitacional de lodos, a lo cual posteriormente se le adiciona polímero sin dosis definida para la estabilización.

La deshidratación del lodo se realiza en forma mecánica mediante filtro de banda para luego enviar los lodos a vertedero, lo cual es una vez al año.

Costos y cobros asociados

Con respecto a los costos operacionales y de mantención de la planta, además de la administración de la planta, son íntegramente absorbidos por la Municipalidad y no existe claridad acerca de si comenzarán a cobrar en algún momento o si la administración será traspasada en algún momento al Comité de APR de Chorombo.

Problemas encontrados y comentarios

Actualmente la planta se encuentra detenida producto de la obstrucción de las bombas elevadoras. Esto sucede debido a que el sistema de rejas es sobrepasado en capacidad, por lo cual los sólidos no son retenidos y continúan hasta las bombas.

Otro problema es la constante rotura de los difusores, por lo que existen zonas de aguas muertas en los estanques de aireación.

A partir de lo anterior, se puede decir que, a pesar que esta tecnología parece bastante prometedora en cuando a las ventajas que posee , su gran desventaja y la principal razón del mal funcionamiento de esta

planta es el alto grado de sofisticación para los tiempos de operación y sensores de niveles (Honsi y asociados Ltda., 2007).

Finalmente, es importante notar que de acuerdo al catastro realizado por la DGOP, esta planta contaba con tecnología del tipo LAAE, lo que implica que existen errores en la Figura 2.10 en cuanto a la clasificación de las plantas existentes.

3.2.2.4. APR María Pinto

Ubicación y antecedentes generales

La localidad de María Pinto se encuentra en la provincia de Melipilla, a 65 km al oeste de la ciudad de Santiago. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 33° 31.016' S y longitud 71° 7.265' O.

La organización del programa de Agua Potable Rural es mediante una Cooperativa, formado en el año 1969 y que al año 2007 cuenta con 700 arranques.

Diagnóstico general de las aguas servidas

La localidad de María Pinto cuenta con sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas desde 1999. Cuenta con 1.500 UD (Uniones Domiciliarias), tecnología de biodiscos y la administración de éste se encuentra en manos de la Municipalidad de María Pinto.



Figura 3.11: Vista biodiscos planta de tratamiento María Pinto

El pretratamiento consiste en 2 sistemas de rejillas, el primero que retiene los sólidos más gruesos que entran a la planta y el segundo que consiste en un filtro rotatorio y que logra retener los sólidos más finos (ver figura en Anexo C). Según comunicación personal con el operador, se supo que el primer sistema de rejillas se satura producto del exceso de basura arrojado al sistema de alcantarillado.

Posterior a esto, el agua ingresa en forma intermitente (dependiendo del caudal de entrada) al tratamiento secundario, compuesto por 5 discos rotatorios de polietileno donde crece la biomasa bacteriana. Fue posible constatar que la biomasa se encuentra en mayor cantidad en los primeros biodiscos, lo cual es esperable debido a la purificación del agua medida que avanza por los biodiscos. El efluente de esta parte del tratamiento se ve bastante clarificado respecto al afluente a esta parte del tratamiento, de lo que se deduce que el sistema se encuentra en buenas condiciones.

Siguiendo la línea de aguas, se llega al sedimentador secundario, donde el agua clarificada se recolecta mediante tubos que se encuentran en la periferia de éste.

En la cámara de contacto se observó que no se está realizando cloración, a pesar de que tanto el dosificador como el estanque de mezcla están instalados. Este punto llama profundamente la atención puesto que es sabido que estos sistemas sólo logran remover alrededor de dos órdenes de magnitud los Coliformes Fecales (Dünner, 2004), por lo que se infiere que el efluente debe estar por sobre la norma de 1.000 NMP/100ml Finalmente el agua tratada es descargada al estero Puangue, el cual pasa a pocos metros de la planta.

En la línea de lodos se tiene que lo obtenido en la decantación del sedimentador secundario es enviado a un espesador gravitacional, que según el operador no ha presentado problemas.

Posteriormente, el secado de los lodos estabilizados se realiza en una cancha de secado a la intemperie, en la cual no hay presencia de olores pero sí moscas. Los lodos secados son retirados por la Municipalidad para ser llevados a vertedero.

El sistema no trabaja en forma continua, sino que cada 6-7 min (dependiendo de la carga) en forma automática, se inicia la elevación de las aguas desde la cámara de rejillas gruesas al filtro rotatorio y luego al tratamiento secundario donde son rotados los discos.

Problemas encontrados y comentarios

Es interesante destacar que comparando lo observado en la visita a terreno con lo observado en tesis de Dunner (2004), en ambos casos la planta presenta el mismo problema en cuanto a la no cloración del efluente. A pesar de esto según lo comunicado por el operador no se refirió a multas cursadas por el Ministerio de Salud, quien los controla cada 3 meses.

En general, la planta se encuentra en buenas condiciones, el operador lleva varios años trabajando en la planta por lo que conoce muy bien el funcionamiento de ella. Además su casa se encuentra ubicada dentro del recinto de la planta, por lo que está siempre disponible para cualquier problema que en ella ocurriese.

3.2.3. VI región Libertador Bernardo O'Higgins

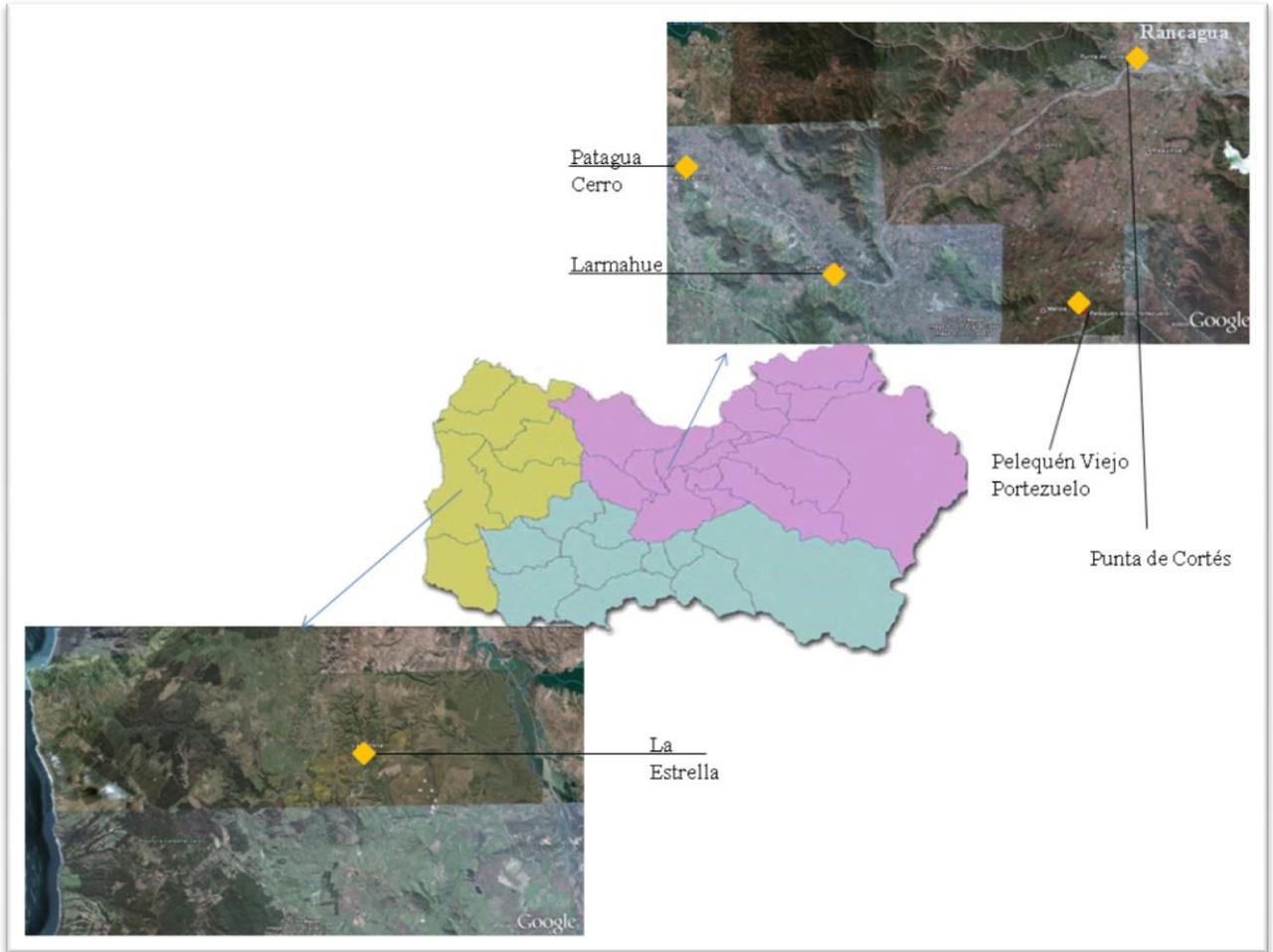


Figura 3.12: Ubicación APR's región de O'Higgins

3.2.3.1. APR Larmahue

Ubicación y antecedentes generales

La localidad de Larmahue se encuentra ubicada al poniente de Peumo en la provincia del Cachapoal, comuna de Pichidegua. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 34° 24.479'S. Longitud: 71° 12.635'O

El servicio de Agua Potable Rural nació en el año 1981 y se encuentra a cargo de un Comité, el cual cuenta con 800 arranques.

Diagnóstico general de las aguas servidas

Desde fines del año 2009 esta localidad cuenta con un sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas del tipo lodos activados modalidad aireación extendida. Esto, se enmarca en un proyecto impulsado por la Municipalidad de Pichidegua iniciado en el año 2008 donde se dotó de casetas sanitarias a 1.915 viviendas para eliminar las fosas sépticas del sector. En una primera etapa, que es en la que se

encuentra en la actualidad, se conectaron 293 viviendas, lo cual equivale a aproximadamente 1.140 habitantes.

Actualmente la planta se encuentra operada y administrada por la empresa Aguasin, quien fue también la encargada del diseño de la planta de tratamiento. Se espera que durante el presente año, esta responsabilidad sea traspasada a la Municipalidad.



Figura 3.13: Vista general planta de tratamiento Larmahue

En el ingreso a la planta el sistema de rejillas está conformado por un canastillo, el cual funciona en forma manual y que al igual que lo sucedido en las otras plantas, se colmata rápidamente.

En el tratamiento secundario, el sistema de aireación está compuesto por dos sopladores y 18 difusores que funcionan por 45 min y se detienen por 15 min. Se observa un buen funcionamiento del estanque y una buena aireación de las aguas.

Respecto al control del IVL, tal como se ha descrito en otras plantas éste se realiza mediante el volumen de sólidos decantado en un litro de licor mezclado al cabo de 30 min. En este caso, el operador indica que este valor debe estar entre 400 mg/l y 500 mg/l, debiendo aumentar la purga de lodos para valores mayores.

En el sedimentador secundario fue posible observar lodo aglomerado flotando en la superficie (ver figura Anexo C) pero que logra ser removido por lo que no presenta mayores problemas.

La desinfección se realiza con hipoclorito de calcio y la dosis aplicada la define el operador de acuerdo a los resultados de cloro residual que va obteniendo, ya que en la misma planta poseen equipamiento para medirlo. Los últimos resultados de cloro residual mostraron valores entre 0,4 y 0,6 mg/l. Finalmente, el efluente es declorado con bisulfito de sodio y la dosis aplicada también es mediante prueba y error. En esta etapa, existe un medidor en línea que indica los valores de pH y T°, los cuales son registrados en forma diaria.

El efluente final es descargado a un canal, el cual aguas abajo es utilizado para regadío.

En la línea de lodos se tiene que lo obtenido en el sedimentador secundario es llevado a un espesador y luego se le adiciona cal y polímero para su estabilización. Ambos aditivos no tienen ninguna dosis en particular, sino lo aplican de acuerdo a la experiencia del operador.

Para el secado de los lodos, esta planta cuenta tanto con un filtro prensa como con una cancha de secado techada, siendo esta última, la más utilizada (ver figuras en Anexo C) De acuerdo a los datos proporcionados por el operador se tiene que los lodos permanecen en esta cancha 5 días en verano y 2 semanas en invierno, valores que parecen un poco bajos considerando la región en que se encuentran.

Problemas encontrados y comentarios

En general el estado de la planta es bueno, todas las unidades funcionan de forma adecuada y existe un control de los parámetros críticos.

Con respecto a otras mediciones que se realizan in situ, existe un galpón en el cual se pretende montar un pequeño laboratorio, pero que en la actualidad sólo cuenta con análisis de DQO. Según la información entregada por el operador, el afluente tiene una concentración de 330 mg/l, mientras que el efluente, 88 mg/l.

Es interesante notar que no hay regulación respecto a qué hacer con los lodos secos, puesto que el Municipio se ha negado a hacerse cargo de ellos, por lo que el operador los regala a los pobladores que se lo solicitan. Esto puede presentar un claro problema por el hecho que no se tiene conocimiento acerca del tipo de lodo generado y sus alcances benéficos o perjudiciales.

Otro punto importante es la capacitación del operador, que fue íntegramente realizada por la empresa proveedora de la planta, por lo que es altamente calificado para el trabajo.

3.2.3.2. APR Patagua Cerro

Ubicación y antecedentes generales

La localidad de Patagua Cerro pertenece a la comuna de Pichidegua, provincia de Cachapoal. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 34° 18.115'S. Longitud: 71° 23.863'O.

El servicio de agua potable rural está a cargo de una Cooperativa, la cual funciona desde el año 1970 y abastece de agua potable a 2.800 habitantes.

Diagnóstico general de las aguas servidas

A partir del año 2003, cerca de 1.800 habitantes del poblado de Patagua Cerro cuentan con sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas. La tecnología utilizada es de Lodos Activados modalidad Aireación extendida, la cual fue provista por la empresa Ecosystem.



Figura 3.14: Vista general planta de tratamiento Patagua Cerro

El sistema comienza con una cámara separada en dos, donde en la primera parte, siguiendo el sentido del agua, se encuentra el canastillo que corresponde al único sistema que retiene los sólidos, ya que no existe cámara de rejas y a continuación el agua pasa al segundo compartimiento de la cámara. En el canastillo, tal como ha sido en todas las plantas visitadas, el operador comenta que colapsa rápidamente.

Posteriormente están las bombas que elevan el agua hasta el inicio del tratamiento que consiste en una cámara de retención que envía el agua hasta el sistema de aireación. Acá, se observó que existen zonas de aguas muertas.

En el sedimentador secundario es posible observar que el agua no se encuentra clarificada, situación que según el operador ocurre desde hace varios años. Producto de esto, el agua ingresa turbia a la cámara de contacto (fotos en Anexo C).

En la desinfección se aplica una dosis de 12% de hipoclorito de calcio por litro de agua al inicio de la cámara y se observó que el tiempo de contacto en ella es menor al requerido (situación corroborada por el operador). Finalmente el efluente se descarga en un canal que se utiliza para regadío y que no confluye a ningún río.

En la línea de lodos se tiene que lo recolectado en el sedimentador secundario va a un digestor aerobio, donde el lodo presentaba un color oscuro y emanaba un fuerte olor, de lo que se deduce que la planta se encuentra con problemas de funcionamiento.

Los lodos digeridos, son dispuestos en una cancha de secado sin techar y acopiados en el mismo terreno. El operador no tenía claridad acerca del tiempo que demoraban estos en deshidratarse.

Análisis cuantitativo de las aguas servidas

Mediante los informes bacteriológicos y fisicoquímicos entregados por la Cooperativa, se tiene los siguientes resultados del afluente y efluente de la planta para un control realizado en febrero del año 2010 con un caudal afluente de 126 m³/d.

Tabla 3.5: Muestreo fisicoquímico y bacteriológico afluente y efluente planta Patagua Cerro

Parámetro	Unidad	Afluente	Efluente
Temperatura	° C	22	23
pH		8,2	7,9
DBO	mg/l	213	97
DQO	mg/l	500	289
Nitrógeno Kjeldhal	mg/l	50,37	43,74
Fósforo Total	mg/l	11,7	10,2
SST	mg/l	223	99
CF	NMP/100ml	5*10 ⁷	1,6*10 ⁵

Fuente: Autocontrol Cooperativa Patagua Cerro. Laboratorio ESSBIO

Problemas encontrados y comentarios

Tal como se observa en la figura del Anexo C al encontrarse abierta la cámara, en períodos de lluvia, se produce el rebalse de las aguas por sobre la división, teniendo como consecuencia la obstrucción de las bombas debido a que los sólidos no logran ser retenidos. En esta parte hay tanto presencia de olor como de moscas, lo cual se debe a que el agua está totalmente cruda y este sistema se encuentra a un par de metros de profundidad pero sin tapar.

Con respecto al estanque de aireación, al existir zonas de puntos muertos se deduce que los difusores no están funcionando correctamente, lo cual fue corroborado por el operador el cual comentó que no se le ha realizado ningún tipo de mejoras. Debido a esto, existen problemas de malos olores en esta parte del tratamiento.

La cancha de secado se encuentra a la intemperie, sin ningún tipo de cobertura, por lo que en periodos de lluvia los lodos requieren de mucho tiempo para secarse.

Actualmente, la planta se encuentra en un proceso de diagnóstico por parte de la Municipalidad de Pichidegua, con el fin de rehabilitarla y así recuperar la capacidad hidráulica para la que fue diseñada.

3.2.3.3. APR Punta de Cortés

Ubicación y antecedentes generales

La localidad de Punta de Cortés se ubica al surponiente de Rancagua, a unos 10 km del centro de la ciudad. Sus coordenadas geográficas son Latitud 34° 10.783' S. Longitud 70° 49.972' O.

El servicio de Agua Potable Rural se encuentra presidido por un Comité y existe desde el año 1986, el cual abastece a 236 familias.

Descripción cualitativa de las aguas servidas

A partir del año 2003 este servicio de APR cuenta con una planta de tratamiento para sanear las aguas de aproximadamente 90 familias. La planta es del tipo planta compacta y cerrada y no se sabe cuál fue la empresa proveedora del sistema ya que en el Comité no quedó ningún tipo de registro.



Figura 3.15: Vista general planta de tratamiento Punta de Cortés

A la entrada del sistema no existe ningún sistema de rejas, por lo que las aguas crudas son directamente elevadas a la planta compacta. Al ser un sistema cerrado no es posible evaluar los procesos que en ella se realizan pero es de suponer que corresponden a los procesos típicos de una planta de aireación extendida pero con la diferencia que no es posible modificar la purga de lodos, ya que todo el proceso se encuentra automatizado.

Con respecto al efluente de la planta, se pudo observar que, al no tener un sistema de rejas, éste contiene residuos sólidos de pequeño tamaño y es relativamente turbio (ver Anexo C) De acuerdo a la implementación existente en la planta, existen 2 tambores, uno para la mezcla de hipoclorito de sodio y otro para bisulfito de sodio, con el fin de clorar y posteriormente declorar el efluente. Al momento de la visita, sólo el clorador se encontraba en funcionamiento. El efluente final es depositado en tambores enterrados pues según lo expresado por una dirigente del comité, la planta no tiene autorización para descargar en acequia que pasa en las cercanías de la planta.

Respecto a los lodos generados, estos son depositados en una fosa, de donde son recolectados en forma periódica por un camión limpiafosas. Cuando esto sucede, previamente la planta es detenida de modo que los lodos puedan decantar, ya que según lo observado a éstos no se les hace ningún tipo de espesamiento para disminuir su contenido de humedad.

Cobros asociados

Actualmente, el costo por alcantarillado cobrado a los usuarios es sólo un cargo fijo mensual de \$4.000 por UD. Respecto a los gastos mensuales que ellos poseen en la planta de tratamiento éstos alcanzan al menos los \$110.000 en electricidad. A eso hay que sumarle los gastos por el hipoclorito de sodio, bisulfito de sodio, sueldo operador y el camión limpiafosas que al momento de la visita no fue posible obtener.

Dentro de este año, pretenden regularizar el tema del cargo fijo porque de acuerdo a lo comentado por ellos, en muchas casas existen más de una familia, por lo que el consumo de agua y posterior caudal enviado a tratamiento es muy dispar entre las viviendas.

Problemas encontrados y comentarios

En la planta, fue posible constatar problemas de olores en casi todo el recinto, y en particular en la fosa donde se disponen los lodos. Además, al abrir los compartimientos fue posible observar que en general las aguas están pobremente tratadas.

Con respecto al operador y sus conocimientos respecto al manejo de la planta, se tiene que la empresa proveedora no realizó ningún tipo de capacitación, siendo esta responsabilidad asumida en parte por la municipalidad, quien ha enviado a cursos al operador. Con esto, sus conocimientos han aumentado a punto tal que para el caso de este APR es él quien se encuentra proponiendo soluciones al problema actual del mal funcionamiento de la planta. Para esto, propuso la inclusión de bacterias mediante una mezcla en polvo, la cual se introduce por los sistemas de alcantarillado de cada una de las casas. Mediante esto, se pretende limpiar el sistema de alcantarillado y aumentar la población bacteriana en la planta pero aún así, es probable que el problema no sea resuelto debido a que el mal funcionamiento guarda relación con el aumento de la población y la incapacidad de modificar los parámetros de funcionamiento de la planta.

3.2.3.4. APR La Estrella

Ubicación y antecedentes generales

La localidad de la Estrella se encuentra en la comuna que lleva el mismo nombre, al poniente del embalse Rapel. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 34° 12.609' S. Longitud 71° 39.018'O.

En el año 1969, La Estrella se incorporó al programa del Agua Potable Rural con la formación de una Cooperativa, situación que mantiene hasta el día de hoy, convirtiéndose en una de las Cooperativas con mayor antigüedad en el país.

Descripción general de las aguas servidas

La recolección y tratamiento de las aguas servidas de la localidad comenzó en el año 1985, con la construcción de una laguna de estabilización para tratar estas aguas. Actualmente, se tratan las aguas de

aproximadamente 500 familias, número ampliamente mayor para el cual fue diseñada la laguna y que ha sido una de las razones principales del mal funcionamiento de la planta.

En su diseño original, el sistema consistía en un sistema de rejillas gruesas de aproximadamente 5 cm entre ellas. Posterior a esto, el agua era vertida a una laguna de 6 m de ancho, 12 m de largo y 1,4 m de profundidad. Finalmente, el efluente era clorado y descargado al estero Alonso Morales, afluente del Estero Codegua. Tal como fue posible constatar, la situación actual es muy diferente y poco queda de lo que originalmente se diseñó, tal como se muestra en la Figura 3.16



Figura 3.16: Vista general planta de tratamiento La Estrella

El sistema de rejillas que constituye el pretratamiento sigue funcionando pero la basura extraída sólo es dejada a un lado, transformándose en un foco serio de vectores (ver Anexo C). La profundidad de la laguna disminuyó considerablemente, ya que en la actualidad sólo es de 30 cm, transformando la laguna en algo más parecido a un humedal, con una gran cantidad de plantas acuáticas pero sin presencia de vectores. Debido al abandono por el estado de la planta, el efluente tampoco es clorado (según el operador de la planta, por más de 20 años), descargando en forma directa lo que sale de la laguna.

Costos

A pesar que la planta en sí no genera ningún tipo de costo debido a que no se realiza nada en ella, se cobra a los usuarios un costo variable mensual de 50 \$/m³ de agua potable facturado, con lo cual se pagan las multas que el Ministerio de Salud les ha cursado.

Problemas encontrados y comentarios

De acuerdo a lo conversado con el operador, la razón principal por la que esta planta de tratamiento se encuentra en tal estado de deterioro es debido a que los colectores de aguas lluvias descargan en el alcantarillado, aumentando con esto, la concentración de sólidos suspendidos en las aguas servidas y también por la malas prácticas realizadas por la Municipalidad, ya que los camiones limpiafosas descargan los lodos en la cámara de inspección que se encuentra antes de ingresar a la planta.

Dado el estado actual de la planta, se necesita un rediseño completo de ella para que las aguas servidas de La Estrella vuelvan a tener tratamiento. Para esto, el Comité junto con la Municipalidad se encuentra diseñando un proyecto de lagunas aerobia, considerando la población actual.

En los últimos dos años, la planta ha recibido 2 actas sanitarias, constatándose en ambas visitas los mismos problemas, estado deficiente de la planta de tratamiento debido a:

- No cuenta con cierre perimetral según norma
- Laguna colmatada con sedimentos que permite el crecimiento de naturaleza y cubriendo cerca del 80% del espejo de agua de la laguna, teniendo como consecuencia que el agua en ella se encuentre estancada
- No existe tratamiento de desinfección
- Malos olores en forma permanente

Todo esto, ha generado según el Ministerio de Salud un foco de insalubridad en toda la zona de la laguna.

3.2.3.5. APR Pelequén Viejo Portezuelo

Antecedentes generales y ubicación

La localidad de Pelequén Viejo Portezuelo se encuentra en la comuna de Malloa, al sur de la ciudad de Rancagua. Sus coordenadas geográficas son: Latitud 34° 26.999' S. Longitud 70° 53.711'O.

Esta localidad cuenta con un APR presidido por un Comité, el cual cuenta con 390 arranques de agua potable.

Análisis cualitativo general de las aguas servidas

En esta localidad existe una planta de lombrifiltro que trata las aguas servidas de 50 viviendas del sector. Al visitar la planta fue posible constatar que ésta se encuentra totalmente desmantelada, con las cámaras y cañerías rotas, por lo que el efluente, sin ningún tipo de tratamiento, es descargado a una acequia que pasa en las cercanías de la planta. En la Figura 3.17 se puede observar el estado en el que se encontraba la planta al momento de la visita.



Figura 3.17: Vista general planta de tratamiento Pelequén Viejo Portezuelo

Según lo conversado con el operador de la planta de agua potable, fue posible conocer que la planta se encuentra en estas condiciones hace aproximadamente un año y que la principal razón es la mala operación que se le realiza. En su diseño original, que comenzó a funcionar en el año 2008, la planta contaba con bombas elevadoras para las aguas crudas, las cuales eran descargadas mediante aspersores al

área dónde se encontraba el tratamiento secundario que consistía en una estructura de cemento con una cama de aserrín y sobre esto la tierra con las lombrices.

La desinfección del agua era mediante placas de luz ultravioleta y descargada al Estero Huiñico. De acuerdo a lo comentado por los trabajadores del APR, en sus inicios, la planta tenía un muy buen funcionamiento, situación que cambió al contratar a otro operador, ya que éste no contaba con la preparación necesaria para velar por el buen funcionamiento de la planta.

Problemas encontrados y comentarios

Cuando la planta se encontraba en funcionamiento, la empresa encargada de la mantención de la planta, tomaba muestras cada 15 días del efluente.

Tal como se mencionó, la planta actualmente no se encuentra operativa en ninguno de sus procesos, por lo que a los usuarios no se les está cobrando por el servicio de recolección de las aguas servidas y las aguas están siendo descargadas crudas a un estero que es utilizado para regadío.

3.2.4. V región de Valparaíso

3.2.4.1. Planta de tratamiento El Melón

En forma adicional se visitó la planta de tratamiento de la localidad de El Melón, la cual se ubica a aproximadamente 100 km al norte de la ciudad de Santiago en la comuna de Nogales, provincia de Quillota. En cuanto a la población objetivo esta planta queda fuera del análisis de esta memoria debido a que sana las aguas de aproximadamente 10.000 habitantes, pero aún así resulta interesante de conocer y analizar debido a la tecnología que utiliza y el buen funcionamiento que posee.

La planta de aguas servidas de El Melón funciona en base al sistema de lombrifiltro y a diferencia de lo que sucede en los sistemas APR visitados, su operación se encuentra en manos de la empresa ESSEL, siendo la Municipalidad de Nogales quien otorga los recursos para su funcionamiento.



Figura 3.18: Vista general lombrifiltro El Melón

Descripción general de la planta

Al ingresar a la planta, las aguas pasan por un sistema de rejas gruesas y finas. El sistema no cuenta con tratamiento primario de desengrasador ni desarenador, por lo que una vez atravesado el sistema de rejas, las aguas son enviadas mediante bombas elevadoras a un equalizador, que se ubica donde antiguamente estaba dispuesta la laguna de estabilización. Aquí las aguas se mantienen en movimiento mediante difusores de aire, los cuales también son los encargados de efectuar un correcto homogeneizado del afluente con el fin de evitar cambios bruscos de algún parámetro que pudiera afectar a las lombrices. Además, al no ser éste un sistema continuo, se requiere de una estructura anterior al tratamiento secundario que permita “retener” las aguas mientras el sistema se regenera.

A continuación se encuentra el tratamiento secundario, que es donde se encuentran las lombrices. Tal como se indicó en el capítulo anterior, está compuesto por diferentes estratos filtrantes; un soporte de grava y rocas, aserrín que sirve de sustrato y por último la tierra que contiene las lombrices. Además, en el lugar se encuentran pequeñas chimeneas, que permiten mejorar la aireación del sistema. Aquí el agua es uniformemente distribuida dentro del área mediante aspersores y de modo que las lombrices vayan degradando la materia orgánica afluente. El agua purificada en el tratamiento secundario es recolectada mediante un sistema de tuberías que descargan en la cámara de contacto donde se realiza la desinfección, la cual se realiza mediante cloración con hipoclorito de calcio y la dosis aplicada va en función de que el efluente mantenga un nivel de 1 ppm y con esto asegurar un nivel de CF inferior a 1000 NMP/100ml.

Problemas encontrados y comentarios

Los principales problemas de la planta son dos: por un lado, tal como se hizo referencia en el análisis cualitativo de la planta, el diseño original no contempló un tratamiento primario para las aguas servidas. El otro problema que presenta es la falta de abastecimiento de los insumos críticos, ya que debido a la estrechez financiera del Municipio, no siempre es posible contar con ellos. Por ejemplo, para el caso del aserrín, se tiene que esto debiera ser todos los años, o incluso cada 4 meses según experiencias realizadas (Morice, 2005) pero según lo indicado por la Empresa, esto no ha sido posible debido al alto costo que esto conlleva.

Otro de los problemas que se les ha presentado, es el reclamo de olores por parte de los vecinos más próximos, esto debido a que poco a poco las cercanías de la planta se han ido urbanizando, aún cuando la planta en sus orígenes se encontraba bastante distante de la zona residencial. De acuerdo a lo manifestado por los operadores de la planta, esta situación se produce principalmente cuando se realiza la mantención de la planta, debido a que los residuos son depositados en la laguna que actualmente no se encuentra operativa. Aún así, cuando la planta fue visitada, no se constató la existencia de ningún tipo de olor y los entes fiscalizadores tampoco han hecho reparos por esta situación.

A pesar de lo anterior, esta planta cumple con todos los requerimientos impuestos por el DS N °90 y de acuerdo a lo observado se encuentra en muy buen estado y los operadores que en ella trabajan tienen un amplio conocimiento de su mantención y operación.

Tabla 3.6: Resumen visitas plantas de tratamiento de aguas servidas

Región	APR	N° de arranques	N° de UD	N° de habitantes	Tipo de tecnología	Entidad encargada de PTAS	Año inicio funcionamiento	Funcionamiento de la planta	Principales problemas detectados
IV	Punta Azul	112	112	600	LAAE	APR	2001	Malo	Tratamiento preliminar deficiente Un soplador sin funcionamiento Tablero electrónico en mal estado Coliformes Fecales efluentes por sobre la norma Lodos en canchas de secado con exceso de humedad
	Gualliguaica	120	120	640	LAAE	APR	2001	Malo	Difusores de estanque de aireación y digestor en mal estado Mal diseño de descarga efluente Impulsión de lodos a cancha de secado deficiente Lodos en canchas de secado con exceso de humedad
	Caleta Hornos	365	329	1.143	LAAE	APR	2007	Regular	Cancha de secado muy pequeña
	El Esfuerzo	550	350	1.218	LAAE	APR	2006	Muy bueno	
RM	Chorombo	545	300	1.200	Reactor Batch	Municipalidad	2004	Malo	Obstrucción de las bombas por exceso de basura Válvulas de reactor Batch no funcionan adecuadamente Difusores de aire se rompen con facilidad
	María Pinto	s/i	1.500	6.002	Biodiscos	Municipalidad	1999	Bueno	Sistema de cloración no funciona
	Cacitúa	721	345	1.380	LAAE	Municipalidad	2007	Malo	Planta casi fuera de servicio
VI	Larmahue	800	293	1.140	LAAE	APR	2009	Bueno	No hay dónde disponer los lodos secos Exceso de lodos en sedimentador secundario
	Patagua Cerro	2800	1.960	7.627	LAAE	APR	2003	Malo	Población sobrepasa capacidad de diseño de la planta Sistema de rejas mal diseñado Difusores en mal estado
	Punta de Cortés	239	90	350	Planta Compacta	APR	2003	Malo	Inexistencia de cámara de rejas Lodos efluentes con exceso de humedad Planta en general funciona en forma deficiente
	La Estrella	568	500	1.946	Laguna Aerobia	APR	1989	Malo	Cámara de rejas en estado deficiente Profundidad de la laguna disminuida No se realiza ningún tipo de tratamiento biológico Diseño de la laguna no consideró aumento de la población a sanear Olores en las horas punta de descarga Descarga del efluente sin ningún tipo de tratamiento
V	Pelequén Viejo Portezuelo	50	50	195	Lombrifiltro	APR	2008	Muy Malo	Planta totalmente abandonada Descarga directo a asequia que pasa en las cercanías Aguas servidas expuestas por rotura de las cámaras de inspección
	El Melón	s/i	10.000	40.000	Lombrifiltro	Empresa ESSEL	1999	Muy Bueno	Insuficiente cantidad de difusores en equalizador Aserrín no se recambia lo suficiente

4. DISCUSIÓN

En este capítulo se pretende hacer un análisis a toda la información obtenida mediante las experiencias en terreno mostradas en el capítulo anterior, de modo de verificar si efectivamente los sistemas implementados apuntan en la línea requerida en cuanto a costos, cumplimiento con la normativa mencionada en el Capítulo 2 y también, dentro de la realidad de las regiones estudiadas, realizar una comparación entre ellas.

4.1. Análisis crítico de las plantas visitadas

Resumiendo, los tipos de tecnología observados en terreno fueron los siguientes:

- Lodos Activados modalidad Aireación Extendida
- Plantas compactas de Lodos Activados
- Reactor Batch Secuencial
- Lombrifiltro
- Biodiscos
- Lagunas aireadas

4.1.1. Funcionamiento y operación de las diferentes tecnologías

LODOS ACTIVADOS: De acuerdo a las visitas a terreno, fue posible constatar que el estado general de estas plantas es variado, algunas se encontraban en buen estado, como el caso de Larmahue y El Esfuerzo, mientras que otras tenían un funcionamiento deficitario, como el caso de Patagua Cerro, Gualliguaica y Punta Azul.

Línea de aguas

Tratamiento preliminar: Analizando lo sucedido en la línea de aguas, se tiene que la totalidad de las plantas, a excepción de El Esfuerzo, presenta problemas en el pretratamiento debido a que esta unidad se colmata rápidamente. Esto se debe principalmente a fallas en el diseño y también producto de la falta de educación de la población en cuanto a lo que se puede o no disponer al alcantarillado. Tal es el caso de la

localidad de El Esfuerzo, donde existe un buen diseño de la unidad de pretratamiento y además hubo una capacitación hacia la población, lo que dio como resultado un excepcional funcionamiento de la planta.

Estanque de Aireación: En general los problemas que se presentan son debido a la rotura de los difusores de aire, lo que provoca zonas de aguas muertas y no permite una buena degradación de la materia orgánica. Otro punto que llama profundamente la atención es el control indirecto que realizan del IVL del estanque de aireación. De acuerdo a comunicación personal con los operadores de las plantas de Punta Azul, El Esfuerzo y Larmahue y tal como se describió en el capítulo anterior, en ellas realizan un control periódico del volumen sedimentado que, en promedio lo mantienen entre 300 ml/l y 450 ml/l. El cálculo del IVL, que corresponde al volumen de 1 gr de lodo después de 30 min de sedimentación (Mettcalf & Eddy, 1996) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$IVL = \frac{V_{30} \left(\frac{ml}{l}\right) \times 10^3 \left(\frac{mg}{g}\right)}{SST \left(\frac{mg}{l}\right)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

V_{30} : Volumen de lodos sedimentado en un litro de licor mezclado al cabo de 30 minutos

SST : Sólidos Suspendidos Totales en el licor mezclado

Asumiendo de acuerdo a la experiencia, que la concentración de sólidos de un agua servida doméstica es de 3.000 mg/l, es posible calcular que el rango de IVL en el que trabajan las plantas es de 100-150 ml g/SST, lo cual es exactamente lo requerido para obtener una buena calidad de lodos. Sin embargo, las plantas debieran realizar un análisis completo y acorde al cálculo del IVL de modo de verificar que los valores asumidos a priori sean coherentes con la realidad.

Los tiempos de funcionamiento y detención de los sopladores en general son bien manejados por los operadores y respetan las indicaciones dadas por las empresas proveedoras de los sistemas. El problema ocurre cuando tienen desperfectos, puesto que los tiempos de reparación o reposición son muy lentos debido a los altos costos que esto conlleva, y producto de ello, se produce un agotamiento del soplador que queda en funcionamiento.

Clarificador: Su funcionamiento está totalmente supeditado a lo que suceda en el estanque de aireación, razón por la cual en casi todos los casos se vio una sedimentación del lodo regular.

Desinfección: En general, en todas las plantas visitadas, a excepción de la planta de Chorombo que posee desinfección por ultravioleta, la desinfección es mediante cloro, ya sea mediante hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio.

Las cantidades de mezcla del producto con agua están dadas por la empresa proveedora del insumo químico, pero la dosis a aplicar al efluente son netamente mediante prueba y error. Respecto a la aplicación del cloro, se requiere en el punto de contacto se produzca una mezcla rápida, para lo cual en la totalidad de las plantas utilizan elementos artesanales para lograrlo, como por ejemplo, baldes.

Respecto al cloro residual, sólo en 3 plantas se controla esto, con los resultados que se muestran en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1: Valores de cloro residual en plantas de Patagua Cerro y El Esfuerzo

Planta	Cloro Residual [mg/l]
Patagua Cerro	0,05
Larmahue	0,5
El Esfuerzo	1,5

Fuente: Elaboración Propia

Estos datos corresponden a muestras puntuales extraídas en los efluentes de las plantas, para el caso de El Esfuerzo y Larmahue como parte del control diario de este parámetro, mientras que en el caso de Patagua Cerro fue parte de un autocontrol realizado por la Cooperativa el año pasado.

De los pocos resultados obtenidos, se observa una gran diferencia entre ambos valores, ya que mientras en Patagua Cerro prácticamente no hay cloro residual, en la planta de tratamiento de El Esfuerzo hay exceso de él (tomando como referencia 0,5 mg/l de cloro residual libre, parámetro DS N°90). Respecto al primero se tiene que si al bajo valor de cloro residual se suma el hecho que la planta funciona en forma deficiente, es posible inferir problemas tanto en la dosis aplicada o en el tiempo de contacto. Un mayor análisis de esto se realiza más adelante en cumplimiento de la normativa.

Respecto al alto valor en la planta de El Esfuerzo, se puede deducir que la dosis aplicada no es la correcta, lo cual conlleva a un mayor gasto en productos químicos, tanto de hipoclorito de sodio como metabisulfito de sodio.

En forma adicional, tal como se mencionó en el capítulo anterior, posterior a la cloración en algunos casos se realiza dechloración del efluente mediante bisulfito de sodio o metabisulfito de sodio, con el fin de reducir la cantidad de cloro en el efluente que puede perjudicar la vida acuática del lugar de descarga. Esta

dosificación también viene dada por prueba y error y la forma de aplicación al efluente es mediante un dosificador.

Finalmente, con los datos del autocontrol realizado por la Cooperativa de Patagua Cerro, fue posible analizar el porcentaje de remoción de los principales parámetros en el efluente de la planta, como se muestra en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2: Remoción de parámetros de interés del tratamiento de LA en planta de Patagua Cerro

Parámetro	Unidad	Alfuelle	Efluente	Remoción %
Temperatura	° C	22	23	-
pH		8,2	7,9	-
DBO	mg/l	213	97	54
DQO	mg/l	500	289	42
Nitrógeno Kjeldhal	mg/l	50,37	43,74	13
Fósforo Total	mg/l	11,7	10,2	13
SST	mg/l	223	99	56
CF	NMP/100ml	$5 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^5$	$10^2(*)$

Fuente: Elaboración Propia

(*) Remoción en cuanto a órdenes de magnitud

De la tabla anterior se desprende que en general, todos los porcentajes de remoción son más bajos que lo que se espera en una tecnología de este tipo (tal como se indica en el Capítulo 2, antecedentes nacionales), Por ejemplo, para la DBO, según la literatura se debieran esperar remociones entre 90-95, sin embargo en esta planta sólo se logra un 54%.

Línea de lodos

En cuanto a la línea de lodos, se tiene que el proceso, tal como lo indica la Figura 2.12, cuenta con un espesador gravitacional o un digestor aerobio para el efluente decantado del sedimentador y un posterior deshidratado para bajar el nivel de humedad de los lodos tratados.

Espesador: En varias de las plantas visitadas, se observó la adición de polímero en emulsión como acondicionamiento previo al espesado de los lodos. En algunas de las plantas, existía además adición de cal (caso de planta de Larmahue) de lo cual se deduce que la estabilización lograda en el estanque de aireación no era completa. El espesador utilizado en la totalidad de las plantas es del tipo gravitacional, el cual funciona bien.

Digestión aerobia: En cuatro plantas visitadas poseían digestor aerobio, Gualliguaica, Punta Azul, Patagua Cerro y El Esfuerzo. En los tres primeros éste no es bien operado, tanto por problemas de mantención (difusores en mal estado o sopladores fuera de servicio) como por problemas operacionales, desconocimiento en cuanto al manejo del lodos, tiempos de residencia en el estanque, lo que se traduce en un lodo pobremente estabilizado y con gran cantidad de olores.

Deshidratación: Finalmente, los lodos espesados o digeridos son impulsados a un filtro prensa (en el caso de que existiera) o a una cancha de secado (alternativa adoptada por todas las plantas de lodos activados), la cual en algunos casos, dependiendo del clima, era techada. En varias de las canchas se observó un exceso de humedad en los lodos, llegando a encontrar algas en las superficies de las plantas de Gualliguaica y Punta Azul. A pesar de esto, el lodo lograba ser deshidratado debido a las altas temperaturas existentes en la zona. El exceso de humedad en los lodos a deshidratar se explica como consecuencia de los malos procesos anteriores, específicamente de la mala sedimentación y pobre tratamiento de los lodos previo a su llegada a las canchas de secado.

Respecto al tiempo de permanencia del lodo en las canchas de secado, éste variaba notoriamente dependiendo de la región, yendo desde 20 días en las plantas de la IV región hasta 2-3 meses en los meses de invierno de la VI región. En la totalidad de las plantas visitadas, a excepción de la planta de Caleta de Hornos, los lodos logran ser secados para posteriormente ser dispuestos en sacos. En el caso de los lodos de Caleta de Hornos, tal como se mencionó en el Capítulo anterior, éstos no se secan, por lo que un camión limpiafosas debe retirarlos en forma periódica.

PLANTA DE TRATAMIENTO COMPACTA: De las visitas realizadas, sólo una planta contaba con esta tecnología, el Comité de Punta de Cortés, que tal como se comentó en el capítulo anterior, se encuentra en muy malas condiciones. En general, este tipo de plantas se encuentran prediseñadas y su diferencia está dada por el número de habitantes a abastecer. A partir de lo observado, se tiene que estos sistemas quedan

abandonados luego de un tiempo debido a los problemas operacionales que presentan y la imposibilidad de mejoras producto de su automatización completa de los diferentes procesos que en ella ocurren.

REACTOR BATCH SECUENCIAL (SBR): En general, este sistema ha sido muy poco implementado en el país, siendo la localidad de Chorombo el único del cual se tiene conocimiento. De lo observado en la visita a terreno, y tal como se comentó en el capítulo anterior, los principales problemas que presenta esta planta se deben al alto nivel de conocimiento y sofisticación que se requiere para su operación producto que el corazón de este sistema es el control de diversas válvulas, por lo que requiere más mantención que un sistema de lodos activados convencional. (EPA, 1999). Por lo anterior, es que esta tecnología no se aconseja para zonas rurales.

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN: Tal como se describió en el Capítulo 2, corresponde al tratamiento de aguas servidas más natural y de mayor antigüedad. Por ende tiene sentido que este sistema de tratamiento esté asociado a la planta más antigua que existe en los sistemas de Agua Potable Rural, la planta de la localidad de La Estrella. El actual estado en que se encuentra la planta visitada, sumado a los requerimientos de espacio y la dependencia de factores climáticos de las lagunas de estabilización, ponen en evidencia que estos sistemas no resultan viables de implementar como tratamiento de aguas servidas en zonas rurales.

LOMBRIFILTRO: De acuerdo al APR visitado que contaba con esta tecnología (Pelequén Viejo Portezuelo, VI región), la planta ya no existe debido a operación deficiente, según comunicación personal, mientras que la planta de El Melón, funciona de manera adecuada, muestra alto grado de remoción de DBO, CF, Sólidos Suspendidos y Nitrógeno Total (resultados en Anexo G) y su operación es relativamente sencilla. Aún así, es importante destacar que los buenos resultados que esta planta muestra sólo son referenciales, puesto que las condiciones de una planta de estas dimensiones a una ubicada en una zona rural difieren bastante.

De acuerdo a experiencias realizadas, es recomendable utilizar esta tecnología en aguas residuales industriales que tengan una carga elevada, puesto que es mejor que sea alimentada con una alta tasa orgánica y una baja tasa hidráulica (Morice, 2005).

4.1.2. Cumplimiento de la normativa pertinente: DS N°90, DS N°46 y NCh 1.333/78

Considerando que las plantas escogidas tratan las aguas servidas de cerca de 1.000 habitantes y que las descargas son realizadas a cuerpos superficiales sin dilución, y en el caso de las plantas de Punta Azul y Caleta de Hornos, el agua se infiltra al suelo mediante drenes, se tiene que las primeras debieran cumplir con lo dispuesto en la Tabla N°1 del DS N°90. Of 01 y para el caso de las segundas, el DS N°46 Of.02. Además, considerando que todas las zonas donde se descargan a cuerpos superficiales, éstos son utilizados

para el riego de cultivos, deben cumplir con la Nch 1333. Of 78, siendo el Ministerio de Salud el encargado de velar por el cumplimiento de todas estas normativas.

De acuerdo a lo conversado con los operadores de la plantas de tratamiento, las visitas por parte de la autoridad competente son esporádicas, aunque se tiene una proporcionalidad directa entre el caudal tratado y el número de visitas (a mayor caudal, mayor periodicidad en las visitas). Tal como se adjunta en Anexo E, la fiscalización se basa en el funcionamiento y estado de los diferentes elementos de la planta y con respecto al control del efluente, el único análisis de laboratorio que se les realiza es el bacteriológico, con el fin de determinar la cantidad de coliformes fecales y así ver si cumple con el máximo permitido por la Nch 1.333. Of 78 de 1.000 CF/100ml. La razón de esto se debe principalmente a dos factores: el primero guarda relación con el sentido original del tratamiento de aguas servidas en zonas rurales en cuanto al reuso en agricultura y que se ve reflejado en la decloración que todas las plantas realizan y en segundo lugar está el desconocimiento general que hay sobre la actual normativa creada por la Conama para regular las descargas de aguas servidas tratadas a los diferentes cuerpos de agua. Lo anterior, sumado al actual estado de las plantas, las autoridades no pueden imponer el cumplimiento de una normativa tan restrictiva como lo es el DS N°90 y el DS N°46.

Respecto al autocontrol de las plantas de tratamiento, en los casos donde ellas son controladas y operadas por las mismas empresas proveedoras del sistema, el control bacteriológico y fisicoquímico es más regular que en los casos en que las plantas se encuentran en manos de las Municipalidad, Cooperativas y Comités, pero en general para ningún caso se cumple lo exigido en el DS N°90 en cuanto a muestreo (mínimo de 12 muestras anuales). Por ejemplo, en la Cooperativa de Patagua Cerro se realiza en general 1 muestro anual, debido a que según lo conversado con la Gerente de esta Cooperativa, no tiene sentido invertir en realizar más tomas de muestras cuando el funcionamiento de la planta es deficiente, por lo que lógicamente las muestras no cumplirán con la normativa. Con respecto a la medición en línea del efluente, sólo en las plantas de Larmahue y El Esfuerzo se miden en forma diaria los parámetros de pH y T°. Además, en ambas plantas existe equipamiento para la medición de cloro residual y DQO, donde el primero se realiza en forma diaria y el segundo en forma semanal.

De acuerdo al análisis bacteriológico y fisicoquímico realizado en enero del año 2010 en la planta de Patagua Cerro se tiene lo que se presenta en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3: Comparación efluente Patagua Cerro con DS N°90

Parámetro	Unidad	Efluente	DS N°90	DS N°90 (anteproyecto)
Temperatura	° C	23	35	35
Ph		7,9	6-8,5	6-8,5
DBO	mg/l	97	35	35
DQO	mg/l	289	-	-
Nitrógeno Kjeldhal	mg/l	43,74	50	80
Fósforo Total	mg/l	10,2	10	15
SST	mg/l	99	80	80
CF	NMP/100ml	1,6*10 ⁵	10 ³	10 ³
Cloro residual	mg/l	0,05	-	0,5

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior, se corrobora el mal funcionamiento de la planta observado en la visita. Los parámetros que se encuentran fuera de rango son la DBO, SST y Coliformes Fecales. Respecto a la alta DBO efluente, se deduce que existen problemas en el estanque de aireación, ya que la materia orgánica no está siendo degradada por los microorganismos. Del nivel de CF en el efluente y la baja cantidad de cloro residual, es posible deducir 3 situaciones:

- La cantidad de cloro aplicada es incorrecta
- El tiempo de contacto del agua con el cloro es menor al requerido
- La dosis de cloro está correcta pero es la materia orgánica la que se está oxidando. Esta última situación tiene el riesgo debido a la potencial formación de organoclorados.
- Los SST favorecen a los CF para que el cloro no actúe sobre ellos.

Además, respecto a los valores de SST encontrados, se deduce que es debido a la mala sedimentación del lodo en el clarificador, situación que es posible de observar en la figura del Anexo C.

Siguiendo con lo mismo, fue posible constatar que para la gran mayoría de las plantas visitadas, cuando son realizados los controles del efluente tanto por autocontrol como por las fiscalizaciones, los resultados quedan en la oficina administrativa y el operador sólo recibe información parcial de estos resultados, lo cual no permite un cambio en la operación cuando existen problemas en las plantas.

Respecto al cumplimiento del DS N°46, no existe ningún tipo de control sobre los drenes que infiltran el efluente de la planta al suelo, ya sea por parte del Comité como por parte de la Autoridad Sanitaria.

4.1.3. Situación de los lodos generados en las plantas de tratamiento

De acuerdo a las visitas realizadas, se tiene el siguiente resumen de acuerdo a la generación y disposición de lodos:

Tabla 4.4: Disposición final de los lodos en las plantas de tratamiento visitadas

Región	Planta de tratamiento	Tecnología	Generación	Disposición
IV	Caleta Hornos	LAAE	Si	Vertedero
	El Esfuerzo	LAAE	Sí	Acumulación en planta
	Gualiguaica	LAAE	Sí	Acumulación en planta
	Punta Azul	LAAE	Sí	Acumulación en planta
RM	Chorombo	SBR	Si	Vertedero
	María Pinto	BD	Si	Vertedero
	Gacitúa	LAAE	Sí	Vertedero
VI	Larmahue	LAAE	Si	Acumulación en planta/ se regala a los pobladores que lo soliciten
	Patagua Cerro	LAAE	Si	Acumulación en planta
	Pelequén Viejo	LF	No	-
	Portezuelo			
	La Estrella	L	No	-
	Punta de Cortés	PC	Sí	Camión limpiafosas, desconoce situación final
V	El Melón	LF	No	-

Según estos antecedentes es posible comentar varios puntos. El primero, guarda relación con el hecho que no existe rigurosidad en la disposición final de los lodos generados en las plantas de tratamiento, situación que no sanciona el DS N °4 Reglamento de manejo de lodos de aguas servidas para el caso que la planta sanee a una población menor a 2.500 habitantes (Título III, Art. 18). Pero a partir de esto queda un vacío en este punto, ya que la responsabilidad acerca de qué se hace con los lodos y quién se hace cargo de ellos no queda clara.

Siguiendo con lo anterior, para el caso particular de las plantas de Larmahue, y tal como lo indica la Tabla 4.4, los lodos una vez secados, son regalados a los pobladores que lo solicitan, ya que, de acuerdo a lo comentado por el operador, la Municipalidad no se hace responsable por ellos, siendo acumulados en el mismo terreno de la planta.

El problema surge debido a que no hay ningún tipo de control del nivel de contaminación en ellos, sin considerar el potencial peligro que éstos presentan si no se tiene el manejo adecuado. Mediante comunicación personal con la secretaria administrativa del Comité de Punta Azul, se conoció que “la DOH ha realizado seminarios en donde les han indicado los potenciales usos de los lodos deshidratados como abono, pero ellos como Comité no tiene los recursos para certificar los lodos en un laboratorio y por ende tampoco pueden venderlo como tal”. De esta afirmación se suma otra situación que no está clara en la actual normativa de lodos, ya que, a pesar que por todos son conocidos los potenciales beneficios de estos lodos, no hay claridad sobre la responsabilidad de los análisis respectivos para su certificación como lodo Clase A o B.

Considerando la situación de los lodos expresado en la Tabla 4.4 y los antecedentes acerca de la producción de lodos según tipo de tecnología mostrado en la Tabla 2.13, se tiene que en las zonas rurales, el mayor porcentaje de plantas lo constituyen las del tipo LA AE, las cuales son las que generan una de las mayores cantidades de lodos. Sumando estos dos hechos, se tiene que existe una cierta contradicción en el sentido de fomentar una tecnología que genera grandes cantidades de lodos y que no existe claridad en cuanto a su disposición final para efluentes de poblaciones menores a 2.500 habitantes.

4.2. Análisis económico

Parte importante de la discusión de las tecnologías revisadas es el aspecto económico. Acá confluyen varios puntos, como lo son los costos de construcción de los proyectos, la rentabilidad de los mismos y también la disposición a pagar por parte de los usuarios. Mediante lo obtenido en las visitas realizadas y lo expuesto en los antecedentes generales, se discutirá acerca de estos 3 puntos, con el objeto de estudiar si existe algún tipo de similitud entre estos valores y también para contrastar los antecedentes con lo que sucede en los Comités y Cooperativas visitados, entendiendo como solución ideal aquella que posea los menores costos actualizados, una tarifa que permita el autofinanciamiento del sistema y que se acerque lo más posible a la disposición a pagar por los usuarios.

En cuanto a los costos de construcción de cada una de ellas, se tiene que, de acuerdo a lo obtenido en terreno y comprobando lo recopilado en los antecedentes, son muchas las entidades que otorgan los fondos para su diseño y construcción, y además existe un amplio rango de valores, tal como se observa en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5: Costos de inversión para alternativas de tratamiento estudiadas

Tecnología	APR	Año construcción	Costo Inversión	Costo Actualizado	Capacidad [m³/d]
LAAE	Gualiguaica	2000	103.483.500	141.128.239	77
	Punta Azul	2000	100.000.000	136.377.528	80
	Patagua Cerro	2003	S/I	S/I	200
	Caleta Hornos	2006	247.996.788	291.094.897	375
	El Esfuerzo	2006	535.000.000	627.974.948	440
	Larmahue	2008	362.610.000	363.829.984	545
Planta Compacta	Punta de Cortés*	2003	S/I	S/I	54
Laguna	La Estrella*	1989	S/I	S/I	300
SBR	Chorombo*	2002	S/I	S/I	327
Biodiscos	María Pinto*	1999	120.000.000	171.318.842	900

(*)Dada la falta de información en cuanto a la capacidad, dotación asumida según antecedentes y densidad por vivienda de Tabla 3.3 para cálculo de capacidad.

Fuente: Elaboración Propia

Es importante destacar lo difícil que resulta el acceso a esta información, debido a que los Comités y Cooperativas en general no cuentan con estos datos. Ahora, al dividir el costo de inversión por el número de habitantes beneficiados se tiene lo que se muestra en la figura a continuación:

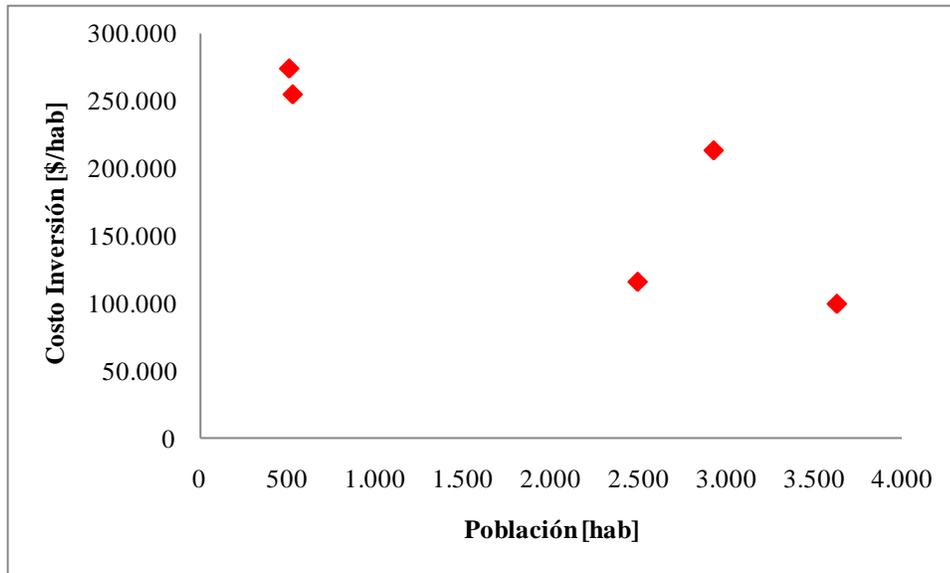


Figura 4.1: Costo de Inversión en PTAS en función del número de habitantes

A pesar que no existen muchos datos que permitan ver una tendencia clara respecto a los costos de inversión en función del número de habitantes, de igual forma, de la Figura 4.1 es posible deducir que existe una disminución del costo por habitante al aumentar la capacidad de la planta.

El análisis económico propiamente tal contempla varias metodologías de cálculo que permiten un mayor espectro de análisis. Todos estos cálculos se realizaron a la alternativa más recurrente, Lodos Activados modalidad Aeración Extendida, para así compararla con las tecnologías a proponer en el capítulo siguiente. La razón de la elección se debe a que representa la mayor parte de la realidad bajo todos los puntos de vistas: clasificación por habitantes (Figura 3.2) a nivel regional y también a nivel nacional. Además, dado el aumento que ha tenido la construcción de este tipo de planta en los últimos 7 años, se esperaría que en el futuro esta tendencia continúe.

Las plantas de las cuales se obtuvo la mayor cantidad de información respecto a costos de construcción, mantención y tarifa fueron de los Comités de El Esfuerzo, Gualliguaica y Punta Azul. Junto con esto, se tiene que la planta de El Esfuerzo funciona en forma adecuada, mientras que la de Gualliguaica lo hace en forma deficiente. Por esto, los análisis se realizaron para ambas plantas para así conocer las consecuencias económicas que ello conlleva en cuanto a los costos anuales.

En una primera parte el cálculo del VAN considerando los costos y tarifas actuales. Este análisis corresponde a un VAN desde el punto de vista privado, asumiendo como ente privado al Comité o

Cooperativa respectivo, una tasa de descuento del 10% y que los costos están exentos de IVA de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo N°29 del Decreto 58: *Fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley n° 19.418, sobre juntas de vecinos y demás organizaciones comunitarias.*

Para esto, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Los costos de inversión fueron actualizados de acuerdo a la variación del IPC a diciembre de 2010
- Horizonte de evaluación: 20 años
- Crecimiento de los costos operacionales anuales:9%
- Las obras civiles y equipos corresponden a un 48% y 40% de la inversión total respectivamente. Esto, de acuerdo a la experiencia de proyectos anteriores y el presupuesto de la planta de Gualliguaica. Con lo anterior, se estimó el costo anual de mantención asumiendo que la mantención de las obras civiles como el 0,5% de la inversión en obras civiles y de los equipos un 2,5% de los mismos
- Inversión de ampliación a los 10 años y corresponde a un 20% de la inversión inicial
- Los ingresos consideraron un reajuste de la tarifa de \$500 por UD cada 3 años

Fuente: Morice, 2005; comunicación personal con Comités

Con esto, los resultados son los que se muestran en la Tabla 4.6

Tabla 4.6: Tabla Resumen Costos de Inversión, Operación, Mantención y Valor Actual Neto

Planta	Capacidad [m ³ /d]	Población	Inversión	Operación	Mantención	Ingresos	VAN
El Esfuerzo	440	1.218	627.974.948	19.200.000	7.786.889	16.560.000	-\$ 1.032.542.663
Gualliguaica	80	640	141.151.494	7.467.750	1.731.853	3.600.000	-\$ 276.385.273

Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior, lo primero que se observa, es que para ambos Comités, el valor de tarifa actual no logra recuperar los costos tanto de inversión como de mantención y operación, aún cuando no se han considerado en el cálculo anterior los costos de reinversión, se obtiene como resultado un VAN negativo.

Con este resultado, se realizó una análisis de la tarifa mínima siguiendo la metodología mostrada en el Capítulo de Antecedentes Generales, lo cual equivale al cálculo de los ingresos tal que el VAN sea igual a cero. Esto, toma sentido debido a que estas entidades no pretenden generar ganancias a partir del servicio que prestan, sino que sólo el dinero suficiente que permita el autofinanciamiento de ellas. Con esto, se llega a los valores que se muestran en la Tabla 4.7

Tabla 4.7: Tarifa Mínima por UD y m³ de agua tratada para plantas El Esfuerzo y Gualliguaica

Planta	Costo mensual (\$)	Tarifa Mínima	
		\$/UD	\$/m ³
El Esfuerzo	2.811.134	9.370	937
Gualiguaica	958.292	7.986	799

Fuente: Elaboración Propia

De estos resultados se tiene que la tarifa mínima encontrada difiere de los valores de tarifa de la Tabla 2.16 y que tampoco cumple con la economía de escala que esta tecnología presenta. Se observa además que la tarifa mínima calculada para la localidad de El Esfuerzo es levemente mayor que en la localidad de Gualiguaica, lo cual no tiene sentido si se considera que el número de habitantes de El Esfuerzo prácticamente dobla a la de Gualiguaica. La razón de esto se debe principalmente al mal funcionamiento que presenta esta última, lo cual tiene como consecuencia que los gastos de energía sean menores a los que esta planta requeriría estando en buenas condiciones. Esto se puede ver reflejado en el caso del digestor aerobio de la planta de Gualiguaica, el cual al momento de la visita se encontraba fuera de uso, existiendo de esta forma una disminución importante del requerimiento energético de la planta. Así se tiene que, aumentando el costo de energía de Gualiguaica asumiendo que el digestor aerobio representa un 30% de la energía total (de acuerdo a antecedentes de proyectos anteriores y según comunicación personal con operadores de las plantas) se obtiene un gasto anual de **\$4.285.714** Con esto, se obtienen los nuevos valores de tarifa, que corresponde a la Tabla 4.8:

Tabla 4.8: Resultados Tarifa Mínima Gualiguaica considerando aumento costo energía

Planta	Costo mensual (\$)	Tarifa Mínima	
		\$/UD	\$/m ³
Gualiguaica	1.092.221	9.102	910

Fuente: Elaboración Propia

De esta última tabla se desprende que los valores son efectivamente más cercanos a los resultados esperados y se acerca aún más a la tarifa mínima de El Esfuerzo. Las diferencias que siguen existiendo lo más probable es que se deban al mayor consumo de productos químicos en esta última planta.

Por el lado de la disposición a pagar por los usuarios, ver Tabla 2.17 con los dos escenarios: uno que considera una población sin recolección y tratamiento y otro que considera la existencia de un sistema de recolección pero sin planta de tratamiento de aguas servidas. En esta tabla se observa que el valor promedio del Escenario 2 difiere bastante de la tarifa mínima a pagar por arranque para la totalidad de número de habitantes considerados. Se consideró este escenario para la comparación de tarifas debido a que el cobro de la tarifa corresponde sólo a los costos de la planta de tratamiento, sin tener en cuenta el

alcantarillado Este es un punto crucial ya que, de acuerdo a lo manifestado por Errázuriz (2004) se tiene que el 53,2% de los encuestados poseen un ingreso menor a \$100.000, que a valor de diciembre de 2010 corresponde a: \$127.297, por lo cual el aspecto económico se vuelve determinante en el sentido que la gente no está dispuesta a pagar cerca del 10% de su sueldo sólo por concepto de tratamiento de aguas servidas.

4.3. Análisis entre las regiones estudiadas

Respecto al funcionamiento de las plantas visitadas, en la Tabla 4.9 se presenta un resumen:

Tabla 4.9: Resumen del estado de plantas visitadas

Región	APR	Estado
IV	Punta Azul	Malo
	Gualiguaica	Malo
	Caleta Hornos	Regular
	El Esfuerzo	Muy bueno
RM	Chorombo	Malo
	María Pinto	Bueno
	Gacitúa	Malo
VI	Larmahue	Bueno
	Patagua Cerro	Malo
	Punta de Cortés	Malo
	La Estrella	Malo
	Pelequén	
	Viejo Portezuelo	Muy Malo

Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior, se desprende que en todas las regiones, el estado general de las plantas visitadas es malo, siendo aquéllas en buen estado una excepción a la situación del total de las plantas. En la IV región fue donde se encontró la mayor cantidad de plantas en buen estado, lo cual está directamente relacionado con el asesoramiento de parte de la Dirección de Obras Hidráulicas de la región al momento de la construcción de estas plantas.

De la asistencia técnica por parte de las Empresas Sanitarias de las 3 regiones estudiadas, Comités y Cooperativas sostienen que éstas no se hacen responsables por lo que no reciben ningún tipo de asesoramiento en esa materia.

Los convenios que hace la DOH-MOP con las Empresas Sanitarias no pueden considerar las aguas servidas ya que no forman parte de sus funciones, por lo que su función sólo está limitada al agua potable.

4.4. Comentarios finales

De acuerdo a lo observado en las visitas y lo discutido en este capítulo, se puede decir que la opción de lodos activados en las 3 regiones estudiadas no ha tenido resultados satisfactorios, presentando problemas de operación, funcionamiento, costos y disposición del efluente, por lo que está lejos de ser considerada una solución sustentable.

En casi todos los sistemas observados, se tiene una baja o nula capacitación a los operadores de plantas por parte de las empresas proveedoras de los sistemas, lo que hace que el aprendizaje de la operación de la planta se realice mediante auto aprendizaje, experiencia y prueba y error para el caso de la aplicación de las dosis de cal, cloro, polímeros y sólo en algunos casos, cuando se cuenta con los recursos como ocurrió con la Cooperativa de Patagua Cerro, se otorgan cursos de capacitación a sus operadores.

Respecto a los costos, de acuerdo a lo conversado con las directivas de Comités y Cooperativas se tiene que en la gran mayoría de ellos, el agua potable subsidia los costos de las aguas servidas, ya que éstas no generan el dinero suficiente para lograr el autofinanciamiento, que corresponde al principio de estas organizaciones.

La asesoría para la administración y control de las plantas no es responsabilidad de ningún Organismo Fiscal y quienes asumen directamente las tareas, ya sea la Municipalidad o el APR no tienen las competencias que permiten lograr el correcto funcionamiento.

5. PROPUESTA DE ALTERNATIVA

Tal como se describió en los Antecedentes Generales, los diseños y propuestas de sistemas de tratamiento de aguas servidas deben apuntar a lo presentado en la Figura 2.1 es decir, que sean económicamente asequibles, ambientalmente sustentables y socialmente aceptados. El problema surge en la subjetividad de estos tres puntos, que conllevan a que la importancia que se le dé a cada uno sea relativa y con ello, que la elección de la mejor alternativa sea también dependiente del ojo de quien la analice.

5.1. Criterio de comparación de alternativas

Para comparar y encontrar la mejor solución se considerarán 3 alternativas que a priori resultan viables de implementar, 2 de ellas que implican un sistema de recolección de las aguas servidas y una tercera que opta por una solución particular totalmente descentralizada. La forma de evaluar estas alternativas será mediante los criterios de sostenibilidad del saneamiento propuestos por Sustainable Sanitation Alliance, SuSanA (2007), que representan lo mismo que lo indicado en la Figura 2.1 pero que debido a su desglose, permiten una evaluación más simple y clara. Éstos son:

Salud e higiene incluye el riesgo de exposición a patógenos y sustancias peligrosas, y la mejora al bienestar lograda por la aplicación de cierto sistema de saneamiento.

Medio ambiente y recursos naturales implica los recursos necesarios en el proyecto y también el grado de reciclaje y reutilización practicado y sus efectos.

Tecnología y mantenimiento se relacionan a la funcionalidad y facilidad de la construcción, operación y supervisión del sistema y también la robustez y la adaptabilidad de los sistemas existentes.

Financiamiento y economía incluye la capacidad de los hogares y comunidades de cubrir los costos de saneamiento y también el beneficio, e.g. de fertilizantes y el impacto externo de la economía.

Aspectos socio-culturales e institucionales se refieren a la aceptación socio-cultural y qué tan apropiado es el sistema, percepciones, aspectos de género y conformidad con los marcos legales e institucionales.

Con los puntos anteriormente expuestos, se realiza una tabla para indicar en cuál de los puntos tienen sus fortalezas y debilidades las 3 alternativas escogidas.

5.2. Fundamento de las elecciones

Las alternativas escogidas para el análisis son las siguientes:

- a. Humedal de flujo subsuperficial con pretratamiento de tanque Imhoff
- b. Lombrifiltro
- c. Unidad Sanitaria Seca

La elección de las alternativas se basa como primer elemento en la sustentabilidad de ellas en base a los antecedentes analizados. En segundo lugar, se busca realizar una comparación entre una alternativa que a nivel internacional aparece como una de las más estudiadas e implementadas: el humedal de flujo subsuperficial (a) con otra que en Chile ha tenido un crecimiento importante, como lo es el lombrifiltro (b) y finalmente una tercera opción que plantea la descentralización total del sistema de tratamiento mediante la implementación de unidades sanitarias secas (c).

Para el caso de la alternativa (a), se consideró necesario un pretratamiento ya que de no existir, aumenta considerablemente el área requerida (tal como se expuso en el Capítulo 2) además de prevenir las obstrucciones del lecho y mejorar su eficiencia. Se optó por un tanque Imhoff debido a la simplicidad de su instalación, porque se adecúan a la escala en cuanto al número de habitantes y por la posibilidad de reúso de los lodos digeridos una vez deshidratados. Respecto a la elección por un humedal del tipo subsuperficial se fundamenta en que resultan menos potenciales focos de vectores y olores y además por su capacidad para amortiguar de mejor forma los cambios de temperatura (Lara, 1999)

A pesar que en las experiencias vistas el lombrifiltro (b) no mostró un buen resultado (caso de planta de Pelequén Viejo Portezuelo) se determinó considerarla en el análisis debido a que mediante comunicación personal con personas que poseen bastante experiencia en el tema de saneamiento rural, esta alternativa resulta atractiva y con potencial éxito como tratamiento debido a sus bajos costos (respecto a los lodos activados) y simplicidad en la operación.

Respecto a la alternativa de la unidad sanitaria seca (c), se ha decidido considerarla para analizar qué es lo que sucede si se opta por descentralizar el sistema de tratamiento de aguas servida a nivel de tratar por separado cada vivienda y construir unidades de saneamiento que vayan en la línea de tratamientos sustentables.

5.3. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño generales son los que se muestran en la Tabla 5.1

Tabla 5.1: Características afluente

	Valor	Unidad
Población	1.000	hab
Dotación	150	l/hab/día
Q medio diario	1,7	l/s
	150	m ³ /d
DBO	213	mg/l
	32,0	kg/d
SST	223	mg/l
	33,5	kg/d

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Cooperativa Patagua Cerro

Tomando estos datos con información preliminar para el diseño, es posible dimensionar las tres tecnologías que serán analizadas:

5.3.1. Tanque Imhoff más humedal artificial

El dimensionamiento del pretratamiento mediante un tanque Imhoff está basado en los criterios de diseño indicados por la OPS/CEPAL (2005) y asumiendo lo siguiente:

- Temperatura media 20° C
- Tempo de retención hidráulica: 2 horas

De acuerdo a esto, se dimensionaron el sedimentador, digestor de lodos y cancha de secado, llegando a los resultados de la Tabla 5.2 y Tabla 5.3:

Tabla 5.2: Dimensiones compartimientos tanque Imhoff

Unidad	Volumen [m³]
Sedimentador	12,5
Digestor	49

Tabla 5.3: Dimensiones unidad Cancha de Secado

Unidad	Dimensiones	Área (m²)
Cancha de secado	1,5x2x0,22	3,00

Para el caso del diseño del humedal de flujo subsuperficial es necesario considerar los parámetros que presenta Tabla 5.4

Tabla 5.4: Parámetros de diseño humedal de flujo subsuperficial

Características	Parámetros
Carga orgánica afluente	< 150 DBO ₅ kg ha ⁻¹ d ⁻¹
Carga hidráulica	5 cm d ⁻¹
Tiempo de retención hidráulico	> 5 días
Área específica por PE	De 5 m ² a 20 m ²
Relación ancho largo	3:1
Profundidad	< 0,6 m
Tipo de relleno	Arenas y gravas
Vegetación*	Variable

(*) La vegetación a escoger es variable, pero en este caso se considerará *Cyperus alternifolius* o *Typha* basados en antecedentes de Perú (Miglio, 2003; Morice, 2005)

Fuente: (Arias & Brix, 2003)

Con las consideraciones anteriores más los parámetros del caudal afluente

Tabla 5.5: Dimensiones humedal subsuperficial

Características	Parámetros	Unidad
Área total	5000	m ²
Número líneas	8	
Area c/u	625	m ²
Dimensiones	35x17,9x0,6	m (largo, ancho, alto)
Carga orgánica	44,7	kg DBO ₅ ha ⁻¹

5.3.2.Lombrifiltro

De acuerdo a lo obtenido mediante comunicación personal y reuniones con la UNTEC, se obtuvo que el requerimiento de área es de 2 m² por cada 5 personas. Con estos datos, se calculó el área requerida, tal como se indica en la Tabla 5.6:

Tabla 5.6: Dimensiones Lombrifiltro

Características	Dimensiones	Unidad
Area requerida	400	m ²
Profundidad	0,85	m

5.4. Sistema de recolección de las aguas servidas

Las 2 primeras alternativas requieren de la recolección de las aguas servidas, para lo cual existen las opciones de alcantarillado tradicional y alcantarillado de pequeño diámetro, las cuales se diferencian principalmente en que esta última requiere de una cámara interceptora en la unión domiciliaria, que en general corresponde a una fosa séptica.

A pesar que esta memoria no está enfocada en la búsqueda de la mejor solución en cuanto a la recolección de las aguas servidas, igualmente se incluye un costo aproximado de ambas opciones de alcantarillado, basado en lo realizado por García (2009) ya que es un costo que debe ser considerado y asumido por las entidades encargadas de diseñar los tratamientos de aguas servidas.

Asumiendo una distancia media entre las viviendas de 10 m (recordar que al pertenecer al programa APR, su distancia es inferior a 15 m por definición) y una distancia a la planta de tratamiento de 200 m, se obtiene lo que se presenta en la Tabla 5.7

Tabla 5.7: Valor sistema de recolección alcantarillado tradicional población de 1.000 habitantes

Item	Desigación	Unidad	Cant	Valor (UF)	Total (UF)
I	Unión domiciliaria	un	250	6,155	1.538,75
II	Colector	m	1030,2	0,6221	640,89
III	Cámara	un	9	11,26	101,34
Total					2.280,98

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.8: Valor sistema de recolección de alcantarillado pequeño diámetro población de 1.000 habitantes

Item	Desigación	Unidad	Cant	UF	Total (UF)
I	Unión domiciliaria	un	250	11,6	2.888,61
II	Colector	m	1.030,20	0,55	570,83
III	Limpieza pozos inspección	un	6	4	24,00
Total					3.483,44

Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior se observa que la opción de alcantarillado de tradicional resulta más conveniente en relación al de pequeño diámetro. A lo anterior se le debe agregar los gastos de mantención, que de acuerdo a García (2009) son el 10% de la inversión más la limpieza de las fosas sépticas en la segunda solución, valor que anualmente tiene un costo 0,87 UF (Chile, Ministerio del Interior, 2009)

Tabla 5.9: Valores anuales de mantención

Opciones	Total (UF)
Alcantarillado tradicional	228,10
Alcantarillado pequeño diámetro	565,09

Fuente: Elaboración Propia

Juntando los valores obtenidos tanto de inversión como de mantención anual se obtiene que la opción de alcantarillado tradicional resulta más conveniente que la de pequeño diámetro, aún cuando ésta última se presenta como una alternativa interesante desde el punto de vista de la realización a nivel de vivienda del pretratamiento.

5.5. Evaluación según criterios de sustentabilidad del saneamiento

5.5.1. Salud e higiene

El riesgo de exposición a patógenos y sustancias peligrosas están directamente relacionados con el reúso que se le dé a los efluentes. Considerando que el origen de las aguas a tratar es 100% doméstico, no debieren existir sustancias peligrosas que pongan en peligro la salud de la población como metales pesados, pero sí es importante que el sistema remueva nitrógeno y fósforo debido a sus potenciales efectos de eutrofización en aguas superficiales y problemas de salud. Respecto a los patógenos, se requiere que los sistemas remuevan las bacterias, virus y protozoos que son transmitidas por las aguas servidas y que pueden transmitir enfermedades como diarreas, fiebre tifoidea, cólera e incluso enfermedades respiratorias (Hoffmann et al., 2011).

De acuerdo a lo observado en los antecedentes tanto el lombrifiltro como los humedales presentan remociones de coliformes fecales de 2 órdenes de magnitud, lo cual no alcanza a cumplir con los

estándares de riego, por lo que se requiere un sistema de desinfección que permita disminuir estos valores y así poder reutilizar el efluente sin potenciales riesgos de salud.

Respecto a la alternativa de la unidad sanitaria, al separar los sólidos de los líquidos, los patógenos quedan en la cámara en constante ventilación y aislados por al menos 6 meses o hasta que se realice el cambio de cámara, por lo que no existe riesgo de contaminación.

5.5.2. Medio ambiente y recursos naturales

Las nuevas tendencias buscan que los recursos que se utilicen en la construcción del proyecto sean lo menos invasivo para el medio ambiente y que todos los subproductos que se genere en el tratamiento de las aguas sean posibles de reutilizar en forma inmediata.

Respecto a la alternativa (a), los materiales utilizados son en general concreto para el soporte de la estructura, arena, especie vegetal y tuberías para distribuir y recolectar el agua y en su totalidad es un sistema que aporta estética y provee un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados (Lara, 1999), pero el problema se presenta en lo intensivo que resulta esta alternativa en cuanto al área requerida, tal como lo indica la Tabla 5.4.

En relación al reúso, se han observado varios proyectos donde el efluente es usado en el riego, como es el caso de un Colegio de Trujillo, Perú. Gracias al proyecto fue posible el sembrado de más de 200 árboles que fueron regados con el agua tratada por el humedal, reduciendo así el uso de agua potable y el costo asociado (Miglio, 2011). En el caso que no se clora el efluente, la existencia de patógenos permite su reúso en riego sólo en especies de tallo largo y forestales (riego restringido).

La alternativa del tratamiento de las aguas mediante lombrifiltro tampoco presenta problemas de construcción a excepción del insumo de viruta, ya que a pesar de ser un subproducto de la industria maderera, según lo indicado por Morice (2005) y comunicación personal con quien administra la planta de El Melón, es el elemento de mayor costo y por ende, de mayor dificultad para conseguir.

El efluente de la planta de lombrifiltro (que incluye desinfección por cloración o UV) según los antecedentes cumple con todas las normativas de descargas y riego, pudiendo ser acumuladas en estanques para posteriormente ser enviadas a camiones cisternas que la utilizan para regar caminos (Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2010). Por el lado de los subproductos, este sistema presenta como principal característica que no genera lodos, ya que lo que se obtiene del medio donde se encuentran las lombrices es lodo estabilizado, que no genera olores y es de fácil manejo. De acuerdo a lo estudiado, no se encontraron aplicaciones directas del lodo estabilizado ni análisis que permitan certificarlo como lodo clase A o B, pero sus proveedores lo catalogan como humus, lo cual constituye un material orgánico que puede ser directamente aplicado al suelo como abono.

Por su parte, la unidad sanitaria seca separa los sólidos de los líquidos, infiltrando los líquidos que resultan ser un abono inocuo. Respecto a los sólidos, al dejarlo “reposar” por un ciclo completo (un ciclo corresponde al tiempo en que se usa la otra cámara) es posible usarlo para recuperar suelos o como abono, pero tampoco se conocen investigaciones que avalen esto último.

5.5.3. Tecnología y Mantenimiento

Otro de los puntos importantes a considerar es la funcionalidad del sistema, ya que es precisamente este criterio el que ha provocado la falla en los actuales sistemas de lodos activados implementados en las regiones visitadas.

Los humedales son considerados como de “baja tecnología”, por lo que su operación y mantención puede ser realizada por una persona sin mayor especialización en el tema. En particular, los puntos que requieren de mayor atención son: bombas, estructuras de ingreso y salida de agua para evitar obstrucciones, concentraciones afluentes y efluentes de DBO y SST y control del crecimiento de las plantas (Hoffmann et al., 2011).

Respecto a los lombrifiltros, según comunicación personal con el administrador de la planta El Melón y lo expuesto por la UNTEC una de las ventajas que presenta este sistema es la simplicidad de su operación y mantención, que está basada principalmente en el “horqueto” y la mantención de los aspersores para que siempre estén libres de obstrucción pero que requiere una alta cantidad de mano de obra, 1 persona por cada 500 m² de lecho (Chile, Ministerio del Interior, 2009).

La alternativa de unidad sanitaria seca es bastante simple en cuanto a mantención, pero está directamente relacionada con la información que reciba la población respecto a los cuidados que requieren este tipo de baños y qué elementos se pueden o no disponer en ellos.

5.5.4. Financiamiento y Economía

Por muchos años, e incluso actualmente en Chile, el análisis económico ha sido el argumento más utilizado en la toma de decisiones al momento de construir plantas de tratamiento. Siguiendo con lo indicado en el capítulo de antecedentes generales, se calculará el CAE de las 3 alternativas.

Para el análisis se realizaron las siguientes consideraciones:

- Tasa de descuento del 10%
- Reinversión cada 5 años y considerada como el 10% de la inversión inicial caso lombrifiltro
- Reinversión a los 10 años y considerada como el 20% de la inversión inicial caso humedal
- Aumento del 9% anual de los costos operacionales
- Sistema de cloración para las alternativas (a) y (b)
- No están considerados los valores de los terrenos
- Cálculo de valores de lombrifiltro en base a lo indicado por presentación UNTEC (principio de sistemas modulares de este sistema, por lo que es posible hacer un cálculo en base a costos y requerimientos por m²)

Fuente: Morice, 2005; Pérez, 2010.

Los resultados principales de los cálculos son los que se muestran en la **Tabla 5.10**:

Tabla 5.10: Resumen CAE alternativas de humedal, lombrifiltro y unidad sanitaria seca

Alternativa	VAC	CAE
Humedal + pretratamiento	\$ 149.989.028,3	\$ 17.617.655,0
Lombrifiltro	\$ 136.388.229,6	\$ 16.020.110,3
Baño Ecológico	\$ 394.229.606,4	\$ 46.306.061,6

De los resultados anteriores, se observa que, a diferencia de lo que podría esperarse, la solución individual posee por mucho, los costos más altos respecto al lombrifiltro y el humedal, pero aún así, esta situación ya había sido predicha por García (2010), donde determinó que hasta las 160 viviendas (aproximadamente 640 personas) resultaba conveniente un sistema individual por sobre uno colectivo.

En el caso del humedal, su mayor CAE se debe a los altos costos de inversión que presenta, tal como se encuentra desglosado en el Anexo F pero que de todas formas se ve aminorado por los bajos costos de operación y mantención. Es por esta razón que no existe gran diferencia entre los valores de las alternativas (a) y (b).

Ahora, si a las alternativas (a) y (b) se le suman los costos de alcantarillado, considerando ambas opciones de recolección, se tiene lo que se indica en la Tabla 5.11 y Tabla 5.12. Para el caso del cálculo con el alcantarillado de pequeño diámetro no se consideró el tanque Imhoff en el humedal, puesto que este tipo de alcantarillado incluye una fosa séptica en cada vivienda, lo cual correspondería al pretratamiento requerido para este sistema.

Tabla 5.11: Resumen CAE considerando costos de alcantarillado tradicional

Alternativa	VAC	CAE
Humedal + pretratamiento	\$ 275.564.355,2	\$ 32.367.685,8
Lombrifiltro	\$ 261.947.091,0	\$ 30.768.207,0

Tabla 5.12: Resumen CAE considerando costos de alcantarillado pequeño diámetro

Alternativa	VAC	CAE
Humedal	\$ 410.436.953,8	\$ 48.209.770,6
Lombrifiltro	\$ 399.717.047,1	\$ 46.950.614,4

Respecto a los valores anteriores, lo primero que es importante destacar es el gran incremento del CAE que se observa al incluir el alcantarillado en los costos del tratamiento, pero que, en el caso del alcantarillado tradicional, no sobrepasan los costos de los baños ecológicos.

Tal como hace referencia el punto de financiamiento y economía, es necesario incluir también la capacidad de las familias beneficiadas, de cubrir los costos que implica el saneamiento de las aguas. Para esto, de la misma forma que en el capítulo anterior, se calculará la tarifa mínima siguiendo el procedimiento indicado en el capítulo de antecedentes generales y que se utilizó para las localidades de El Esfuerzo y Gualliguaica en el análisis económico realizado. De acuerdo a esto, los resultados son los indicados en la Tabla 5.13:

Tabla 5.13: Valores tarifa mínima para alternativas de humedal y lombrifiltro

Costos	Humedal	Lombrifiltro
Costos totales anuales	\$ 3.016.740	4.767.500
Fondos de reposición anual	\$ 754.185	1.191.875
Costos mínimo tarifa	\$ 314.244	496.615
Costo mínimo por arranque	\$ 1.257	1.986
Costo mínimo por m ³	\$ 126	199

De lo anterior, se desprende que, tal como era de esperarse de acuerdo a los antecedentes, el humedal posee costos de operación de menor valor, lo que conlleva claramente a una menor tarifa. Aún así, la diferencia con la tarifa presentada por la alternativa del lombrifiltro no resultan abismalmente diferentes;

es más, si se comparan estos valores con los de disposición a pagar presentados por Errázuriz (2003) se tiene como resultado que ambos están por debajo del promedio indicado en la Tabla 2.17, por lo que ambas resultan factibles bajo este punto de vista.

Sin embargo, el lombrifiltro presenta una desventaja que debe ser considerada, como lo es el difícil acceso a la viruta. Esto corresponde quizás al elemento más sensible de esta tecnología desde el punto de vista económico y también desde el criterio de los recursos naturales, ya que el alto costo que presenta sumado a lo dificultoso para conseguirlo, hace que no sea reemplazado con la periodicidad requerida, mermando la eficiencia del tratamiento.

5.5.5. Aspectos socioculturales e institucionales

De lo observado en las visitas realizadas y lo obtenida mediante comunicación personal con los dirigentes de los Comités y Cooperativas, el conocimiento acerca de la tecnología a implementar y el entendimiento de la misma son fundamentales para el buen funcionamiento de ella.

Este criterio es quizás el punto más débil de las 3 alternativas a evaluar, ya que a pesar de haber sido implementado con éxito tanto en algunas regiones de Chile (caso de las alternativas (b) y (c)) como en Europa y Perú (caso alternativa (c)), todavía no son de conocimiento y uso masivo, por lo que es posible que exista cierta resistencia por parte de la población.

Respecto a la conformidad con los marcos legales e institucionales, el lombrifiltro presenta una ventaja importante respecto a los otros 2 sistemas de tratamiento porque los antecedentes demuestran que cumplen con toda la normativa atinente. En relación al sistema de humedal propuesto, en el país no se encontraron estudios de plantas pilotos con estas características ni resultados acerca del cumplimiento de la normativa, por lo que no es posible identificar si cumple o no con ella. Aún así, en los países donde se vio implementado este punto se presenta un aspecto positivo (Miglio, 2010).

5.6. Comparación entre alternativas

Una vez caracterizado y analizado cada uno de los criterios para los tres sistemas de tratamientos a comparar, se realiza la tabla donde se muestran los puntos fuertes y débiles de las alternativas. Para el análisis, el punto de comparación fue exclusivamente el tratamiento, obviando el sistema de recolección de las aguas servidas.

Tabla 5.14: Evaluación alternativas mediante criterios de sustentabilidad

Criterio de sustentabilidad	Humedal			Lombrifiltro			Baño Ecológico		
	+	o	-	+	o	-	+	o	-
Salud e higiene	X			X			X		
Medio ambiente y recursos naturales		X			X		X		
Tecnología y mantenimiento	X			X			X		
Financiamiento y economía	X			X				X	
Socio-cultural e institucional		X		X				X	

La tabla anterior, indica que la alternativa que mejor responde a los 5 criterios de sustentabilidad es el lombrifiltro, siguiendo después el humedal y la unidad sanitaria seca, estos últimos con tres puntos fuertes y dos medios.

Las diferencias que determinaron la elección por el lombrifiltro es el aspecto socio cultural e institucional, discutido anteriormente, ya que en el resto de los criterios ambas alternativas mostraron comportarse de manera muy similar. En el caso de baño ecológico, sus puntos débiles para la población estudiada (1.000 habitantes) son el CAE calculado, que comparativamente con las otras dos alternativas resulta muy alto.

De acuerdo a lo anterior, es posible decir que, al demostrarse que estas tres alternativas igualmente respetan los 5 criterios de sustentabilidad, todas ellas son viables de implementar, ya que en ninguno de los casos se presentan como débiles en los aspectos, a diferencia de lo que sí sucede por ejemplo, con los lodos activados.

Comentarios finales

Dada la poca experiencia que existe en el país acerca de estas tecnologías, se propone continuar con un estudio más acabado que incorpore el diseño de una planta piloto para conocer el funcionamiento de esta propuesta de tecnología en las regiones estudiadas. Con esto, se podría corroborar si las eficiencias encontradas en la revisión bibliográfica se adaptan a la realidad de estas regiones y por ende cumplen con la normativa vigente en el país. Además, resultaría interesante analizar en detalle el sustrato de la viruta en el lombrifiltro, por lo que las plantas pilotos podrían analizar la frecuencia ideal de recambio y posibles sustitutos de ellas que permitan una disminución de los costos.

Para eliminar el sesgo en la elección de la alternativa se propone realizar un estudio utilizando la metodología de decisión multicriterio AHP trabajada por Pérez (2010), tomando como aspectos relevantes para su cálculo, los 5 criterios de sostenibilidad del saneamiento.

Respecto a los valores por sistema de recolección, estos se incluyeron con el fin de entregar una visión más completa de los costos, pero fueron obviados para el cálculo de la tarifa debido a que, según lo estudiado, ésta no contempla este punto en su cálculo.

Es importante destacar que los valores presentados y utilizados corresponden a precios referenciales, debido a que las alternativas han sido evaluadas a nivel de perfil, por lo que un análisis más detallado puede presentar diferencias en cuanto a lo encontrado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto a las visitas realizadas en las tres regiones seleccionadas se concluye lo siguiente:

Tal como se observó de los antecedentes nacionales, la mayor cantidad de las plantas en las regiones estudiadas son del tipo de Lodos Activados, con un funcionamiento que varía entre regular y malo y variados problemas de operación y mantención.

De todas las plantas visitadas, no se encontró ninguna que cumpliera con un buen funcionamiento y con un costo de operación razonable, por lo que en el 100% de los casos, la tarifa pagada es mucho menor a lo requerido para permitir el autofinanciamiento, situación que se ve reflejada en el VAN negativo obtenido.

Comparando lo observado en el país con países como Perú, España, Dinamarca y si se hace referencia en forma específica al sistema de lodos activados, se concluye que éste no cumple con ninguno de los principios que apuntan a un tratamiento sustentable debido a que:

- A nivel económico resultan muy caros y poco sostenibles tanto para los Comités y Cooperativas como para las Municipalidades y menos sustentable resultan para pequeñas localidades tomando en consideración las economías de escalas que presenta esta tecnología.
- Desde el punto de vista medioambiental resultan atractivos por el lado del reúso del agua, ya que permiten un efluente que cumple con las normativas y protege el medio ambiente pero desde el punto de vista de los lodos generados, tal como se dijo en el Capítulo 4 no existe claridad en su disposición final.

Por todo lo anterior, es que se vuelve necesario evaluar el crecimiento explosivo que los lodos activados han tenido desde el año 2003 a la fecha, además de incentivar e innovar en nuevas alternativas de tratamiento.

Siguiendo con lo anterior, se vuelve fundamental que la construcción del sistema de recolección y tratamiento vaya acompañado de un asesoramiento a la comunidad que les permita entender lo que esto significa en cuanto a tarifas, cuidados, calidad de vida, etc.

Es importante considerar las razones de no pago por el tratamiento de las aguas servidas encontradas por Errázuriz (2003), las cuales se deben a los bajos ingresos (20,6%) y costo mensual demasiado alto (14,8%). Debido a esto es que resulta de gran importancia buscar valores de tarifa que se adecúen a la realidad rural, lo que implica necesariamente, buscar tecnologías más económicas y también promover el acceso a subsidios a la demanda.

Respecto al cumplimiento de la normativa se tienen dos puntos importantes; el primero guarda relación con la falta de conocimiento general que hay respecto a ella, mientras que el segundo se vincula con lo estricta que es la actual normativa, lo cual merma cualquier posibilidad de cumplimiento de ella en los sectores rurales. Esta situación conlleva a buscar una normativa de descarga que sea acorde a su realidad.

De acuerdo a lo expuesto es que se requiere indiscutiblemente una institucionalidad gubernamental competente que asista, resuelva y vele por una real mejora en el saneamiento rural.

De las alternativas propuestas para ser evaluadas, la alternativa de unidad sanitaria seca resulta mucho más cara en cuanto a inversión respecto a las alternativas de humedal y lombrifiltro, pero sus costos se igualan al agregar los costos de inversión de alcantarillado de pequeño diámetro. Para el caso del análisis con alcantarillado tradicional, los costos totales de inversión disminuyen considerablemente, por lo que se recomienda utilizar este tipo de recolección.

En cuanto a la evaluación mediante los cinco criterios de sustentabilidad, se tiene que la mejor alternativa es la del lombrifiltro, ya que a nivel institucional, ha demostrado cumplir con la normativa vigente, a diferencia de lo que sucede con las otras 2 tecnologías el humedal y la unidad sanitaria seca, que al ser poco conocidas en el país, no es posible verificar su cumplimiento.

A pesar de lo anterior, se concluye que las tres alternativas resultan viables de implementar debido a que ninguna se muestra débil bajo ninguno de los criterios evaluados. En particular, para el caso del humedal, se recomienda ubicarlos en lugares donde ya existan, de modo de disminuir los costos de la construcción de éstos y del valor de los terrenos.

Finalmente, tomando este trabajo de título como base, se propone seguir con estudios más detallados respecto a la viabilidad de implementación de estas tecnologías, de modo de innovar en sistemas de tratamiento que apunten a seguir la misma línea de lo que está siendo utilizado a nivel mundial.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. A step towards decentralized wastewater management in the lower Jordan Rift Valley por van Afferden, M. et al. (2010). Water, Science & Technology, 61(12): 3117-3128.
2. Adewumi I., Adebajji O., 2010. Using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to treat wastewater of a residential institution. Toxicological & Environmental Chemistry, 91(5): 891-903.
3. Al-Sayah M., Mahmoud N., 2008. Start-up of an UASB-septic tank for community on site treatment of strong domestic sewage. Bioresource Technology, 99: 7758-7766.
4. Álvarez J.I., Ruiz I., Soto M., 2008. Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands. Ecological Engineering, 33: 54-67.
5. Arias C., Brix H., 2003. Humedales Artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 13: 17-24.
6. Bachillerato Integral Comunitario. [en línea]. <<http://bic21desantiagoixtayutla.blogspot.com/p/actividades-formacion-para-el.html>> [25 de junio, 2011]
7. Brix H. Danish guidelines for small-scale constructed wetland systems for onsite treatment of domestic sewage. En: 9th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control: 26-30 Septiembre de 2004. Avignon, Francia. 8 h.
8. Castillo, G. (2008). Microbiología de Aguas. Apuntes Calidad del Agua. Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
9. CHILE. Instituto Nacional de Normalización. 1978. NCh N° 1333: Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.
10. CHILE. Ministerio de Salud. Departamento de Asesoría Jurídica. 2004 DS N°236/26: Reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias.
11. CHILE. Ministerio del Interior. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (2009) Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para zonas rurales.

12. CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2001 DS N°90: Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
13. CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2002 DS N°46: Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas subterráneas
14. CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. 2009 DS N°4: Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.
15. Dünner Solari, Ignacio Alberto. Evaluación Integral de Plantas de tratamiento de Aguas Servidas y alternativas de tratamiento en localidades rurales concentradas. Aplicaciones en las regiones R.M. y VII. . Tesis (Magister en Ciencias de la Ingeniería, mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2004. 164 h.
16. EPA-US (1993). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Wildlife Habitat: 17 Cases Studies. EPA 832-R-93-005.
17. EPA-US (1999). Wastewater Technology Fact Sheet. "Sequential Batch Reactors". EPA 832-F-99-073.
18. Errázuriz Tagle, Federico, 2004. Cálculo de la disposición a pagar por sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de Chile usando el método de valoración contingente. Tesis (Magíster en Economía Agraria). Santiago, Chile. Universidad Católica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 93 h.
19. García Lastra, Andrea Alejandra, 2009. Análisis de factibilidad técnica y económica de sistemas de tratamiento de aguas servidas para las localidades rurales de la región de Antofagasta, zonas costeras y altiplánicas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 131 h.
20. Hoffman H., Platzer C., Winker M., von Muench E., 2011. Technology review of constructed wetlands: Subsurface flow constructed wetlands and domestic wastewater treatment. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Eschborn, Alemania.
21. Homsy y Asociados Ltda., 2007. Estudio de soluciones de saneamiento rural. Guía de criterios de diseño de sistema de tratamiento de aguas servidas. Informe final. 51 h.

22. Homsy y Asociados Ltda., 2008. Evaluación de la normativa vigente de emisión asociada al mundo rural. Informe 1. 33 h.
23. Hyun K., Lee S., 2009. Biofilm/membrane filtration for reclamation and reuse of rural wastewaters. Water, Science and Technology, 59: 2145-2152.
24. Joy D., Weil C., Croll A. and Bonte-Gelok S., 2001. New technologies for on-site domestic and agricultural wastewater treatment. Canadian Journal Civil Engineering, 28 (1): 115-123.
25. Lahora, A., 2003. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la edar de Los Gallardos (Almería). En, Paracuellos, M. (ed.): Ecología, manejo y conservación de los humedales, pp. 99-112. Colección Actas, 49. Instituto de Estudios Almerienses (Diputación de Almería). Almería.
26. Lara Borrero Jaime Andrés, 1999. Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Tesis (Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental), Barcelona, España. Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto Catalán de Tecnología, 122 h.
27. Lombrifiltro Chile Ingeniería Ambiental Ltda. [en línea] <www.lombrifiltro.cl> [consulta:10 de diciembre, 2010]
28. Madera C., Silva J., Peña M., 2005. Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basado en tanque séptico- filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. Ingeniería y Competitividad, 7(2):5-10.
29. Massoud M., Tarhini A., Nasr J., 2009. Decentralized approaches to wastewater treatment and managment: Applicability in developing countries. Journal of Environmental Managment, 90: 652-659.
30. Miglio R., Nava C., 2003. Evaluación de la capacidad depuradora de un fitotratamiento de flujo horizontal, para las aguas residuales domésticas en el AAHH nueva alianza del distrito de San Juan de Lurigancho. Lima, Perú. Anales científicos UNALM, 53-A: 61-81.
31. Miglio R., Sótero I., 2005. Comparación del comportamiento de dos pantanos artificiales de diferente flujo utilizando *phragmites australis* (carrizo). Anales científicos UNALM, 62: 44-55.
32. Miglio R., 2005. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con el uso de plantas acuáticas. Anales científicos UNALM, 62(1): 12-24.
33. Miglio R., Quiouzco L. 2005. Evaluación de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis*. Anales Científicos UNALM, 63(1): 1-13.

34. Miglio, R. 2010. Reúso de efluentes de un sistema de humedales artificiales, Trujillo, Perú – Caso de estudio de proyectos de saneamiento sostenible. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA)
35. Morice León, Pilar Francisca, 2005. Estudio de plantas pilotos de aguas servidas basadas en lombrifiltración y rhizofiltración. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 175, h.
36. Moussavi G., Kazembeigi F., Farzadkia M., 2010. Performance of a pilot scale up-flow septic tank for on-site decentralized treatment of residential wastewater. Process Safety and Environmental Protection, 88: 47-52.
37. Mustapha M., 2009. The ONEP experience for wastewater treatment in small communities: current situation and prospective. Desalination, 246: 613-616.
38. OPS/CEPIS, 2005. Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización, 40 h.
39. Pérez Oddershede, Astrid Viviana, 2010. Selección de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales para localidad de Santa Bárbara usando metodología de multicriterio AHP. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 99 h.
40. Pizarro Fuentes Leonardo, 2011. Criterios de Selección de Alternativas de Tratamiento de Aguas Servidas en Zonas Rurales. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 160 h.
41. Reunión de Presentación Proyecto de ley de Saneamiento Rural (Septiembre 2010, Talca, Chile). Agua Potable Rural, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, 2010.
42. Reunión de Presentación Sistema Tohá®(Noviembre 2010, Santiago, Chile). Tratamiento de Aguas Servidas a través del Sistema Tohá®. Santiago, Chile, Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2010.
43. Sabry T., 2010. Evaluation of a decentralized treatment of sewage employing Upflow Septic Tank/Baffled Reactor (USBR) in developing countries. Journal of Hazardous Materials, 174: 500-505.
44. Salazar Becerra, Marta Andrea, 2003. Tecnologías de tratamiento para uso benéfico de lodos. Tesis (Magister en Ciencias de la Ingeniería, mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 102 h.

45. Seghezzo, L. 2004. Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions. Tesis de Doctorado Wageningen, Holanda. Wageningen University. 151 h.
46. SuSanA. Towards more sustainable sanitation solutions [en línea] <<http://www.susana.org/lang-en/intro/156-intro/267-vision-document>> [consulta: 13 de abril, 2011]
47. Viensmann W., Hammer M. 1985 Water Supply and pollution control. 4^a Ed. Nueva York. Harper & Row.
48. Wu S. Household Constructed Wetlands for Rural Wastewater Treatment. [en línea] <<http://www.docstoc.com/docs/22900867/Household-Constructed-Wetlands-for-Rural-Wastewater-Treatment>> [visita: 10 de julio, 2010]
49. Xiao H. Ecological Engineering Techniques For lake Restoration In Japan [en línea] <<http://www.pwri.go.jp/team/rrt/eng/contens.htm>> [consulta: 10 de marzo, 2011]

ANEXOS

Anexo A: Figuras y Tablas Antecedentes Generales

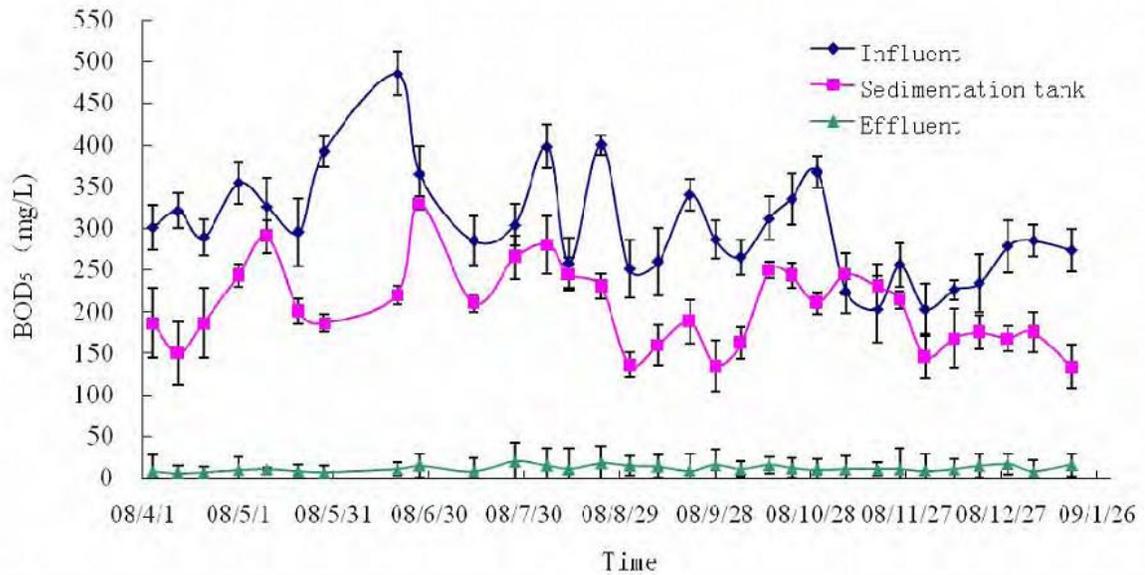


Figura A.1: Remoción de DBO en trabajo experimental de Wu (2009)

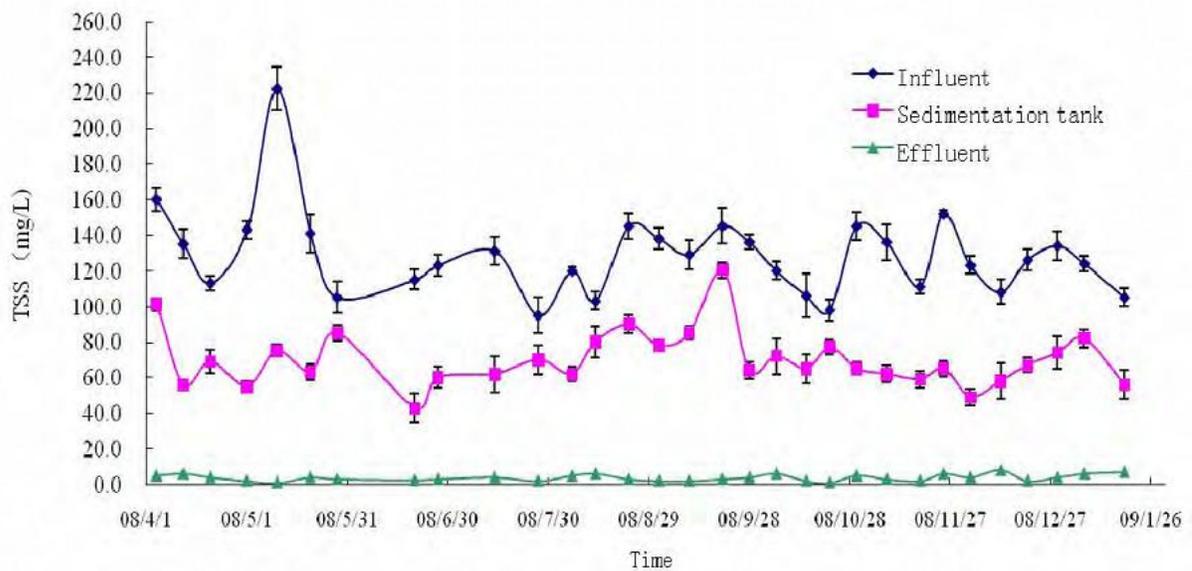


Figura A.2: Remoción SST en trabajo experimental de Wu (2009)

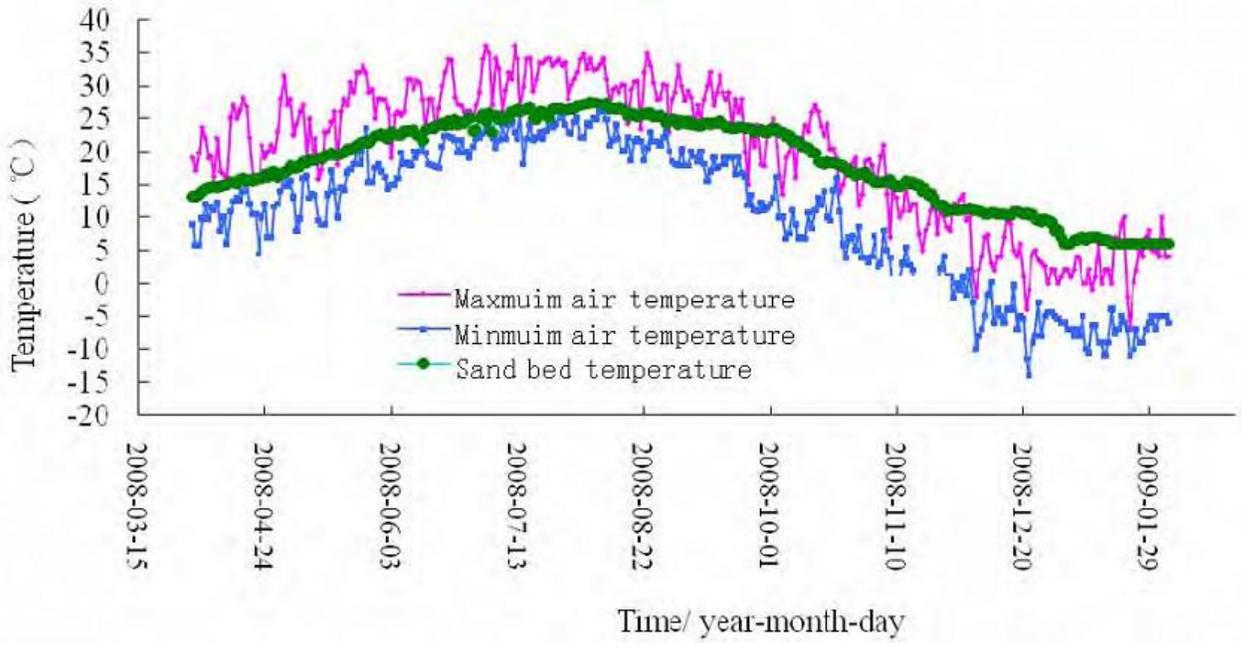


Figura A.3: Cambio de temperatura dentro de humedal en trabajo experimental de Wu (2009)

Anexo B: Instructivo para el Análisis de Proyectos de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en sector Rural



Instructivo para el Análisis para Proyectos de Alcantarillado y Tratamientos de Aguas Servidas en el Sector Rural

Los antecedentes mínimos requeridos para formular este tipo de proyectos son los siguientes:

- 1.- **Diagnóstico de la situación actual**, que permita identificar y establecer en base a un conocimiento técnico, la magnitud del problema, los potenciales beneficiarios y la demanda en el horizonte de evaluación (20 años). Para estos fines, se debe incluir la siguiente información:
 - Definición del área del proyecto, entregando información sobre la ubicación geográfica de la localidad, croquis del área en estudio, indicando superficie, calles, caminos, viviendas, y longitudes estimadas de redes, densidad de viviendas por kilómetro (actual y proyectada). Para localidades vecinas que se abastezcan con distintos sistemas de agua potable, eventualmente se podría considerar un sistema conjunto de tratamiento de aguas servidas.
 - Descripción de la situación sin proyecto: consiste en un análisis físico y operativo del sistema de evacuación y disposición existente.
 - Estudio de la demanda: determinando los caudales medios y máximos de agua potable y aguas servidas, para la situación sin y con proyecto. Estudio para un período de 20 años.
 - Análisis técnico del sistema de agua potable existente en la localidad. En términos de antigüedad, tipo de fuente, capacidad, responsables técnicos de la operación y administración
- 2.- **Estudio de selección y análisis de alternativas**, considerando todas las alternativas técnicas posibles de implementar para evacuar y disponer apropiadamente las aguas servidas de la localidad, las que pueden ser colectivas o particulares. Entre los factores a considerar en el análisis de las alternativas de solución, se encuentran las características propias de la localidad (topografía, profundidad de la napa, existencia de sistemas de tratamiento en localidades vecinas y la capacidad de éstos, etc), el tamaño de la población, la densidad poblacional, la. Deberá seleccionarse la alternativa de menor valor actual de costos, para un horizonte de evaluación de 20 años. Deben considerarse tanto los costos de inversión (terreno, obras civiles, equipamiento), los de reinversión, los de operación (personal, productos químicos, energía, traslado y disposición de lodos) y los de mantención.
- 3.- **Informe de Dirección de Obras Hidráulicas del MOPTT sobre la capacidad de la del sistema de APR**. La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), a través del Departamento de Programas Sanitarios (DPS) o sus Direcciones Regionales (DROH), deberá pronunciarse respecto a la capacidad del sistema de agua potable para atender posibles mayores consumos. Interesa conocer si el proyecto demandará una ampliación en el sistema de APR, en cuyo caso se debe estimar cuándo es necesaria esta inversión, la que debe incorporarse dentro de los costos del proyecto. Para estos efectos, se debe convenir con la DOH para que actúe como contraparte técnica durante todo el desarrollo del proyecto de agua potable (revisión del proyecto, licitación y supervisión de la obra).

- 4.- **Evaluación económica del proyecto:** en esta etapa se debe realizar la evaluación del proyecto, para lo cual se requiere estimar los costos del proyecto en base a valores referenciales, considerando los costos de inversión (terreno, redes, plantas elevadoras, sistema de tratamiento, disposición de lodos, emisarios, casetas, uniones domiciliarias, etc), los de operación (mano de obra, productos químicos, energía, etc), los de mantención, y los costos de la intervención en el sistema de APR, en caso de requerirse.

Tratándose de una instalación o ampliación de servicio, la evaluación debe realizarse de acuerdo a los parámetros de costos utilizados en el análisis de proyectos en territorios vulnerables.

Si el proyecto corresponde al Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial (PIRDT), los parámetros de corte están establecidos en el **Instructivo para el análisis de proyectos PIRDT**, en caso que el proyecto haya surgido de un Plan Marco de Desarrollo Territorial, versión cero o uno (PMDT-0, PMDT-1). Cuando el proyecto surge de un PMDT 2, la evaluación es realizada en el desarrollo de ese PMDT, el que debe ser presentado como respaldo del proyecto.

Cuando el proyecto sea financiado con la Provisión de Saneamiento Sanitario, la evaluación deberá realizarse con los mismos parámetros de corte utilizados para proyectos de territorios vulnerables, y los valores máximos acordados con el BID permitirán decidir la pertinencia de aplicar los fondos del crédito para financiar el proyecto en particular.

Tratándose de proyectos de mejoramiento o reposición, el proyecto debe evaluarse con criterio de mínimo costo.

- 5.- **Certificado de la Superintendencia de Servicios sanitarios (SISS)**, indicando que la localidad en estudio no está considerada en los planes de desarrollo de la empresa sanitaria existente en la zona, ni existe solicitud de concesión por parte de algún otro organismo.
- 6.- **Certificado del Comité o del organismo responsable de la administración y operación del sistema de agua potable**, señalando su disposición para asumir la responsabilidad de la administración, operación, mantención. Además, el comité debe indicar la tarifa vigente y el porcentaje de eficiencia de la recaudación por concepto de cobro del agua potable, durante los últimos seis meses (morosidad); y entregar un listado de los beneficiarios con su firma y disposición a conectarse a las redes pagando una nueva tarifa. Implica aplicar mayor tarifa cuando entre en operación.
- 7.- **Presupuesto detallado del Diseño**
- 8.- **Términos de Referencia del Diseño.** En ellos, se debe tener presente los requerimientos del SNI para postular a la etapa de ejecución. Un aspecto fundamental será el planteamiento y selección de alternativas. Se deben considerar todas las alternativas técnicamente posibles, tanto para el sistema de redes como el de tratamiento de aguas servidas, identificando para cada una de ellas sus respectivos costos.

Es importante que el proyecto demuestre contar con la capacidad económica, técnica y administrativa, que permita sustentar el proyecto en el tiempo. También interesa conocer el detalle de los costos operacionales, al menos en lo referente a energía, personal y productos químicos, ya que posteriormente se debe tarificar el servicio, sobre la base de al menos generar los recursos que permitan mantener operativo el sistema. La selección de alternativas debe hacerse en base a un análisis de mínimo costo, considerando tanto los costos de inversión, operación y mantenimiento del sistema propuesto, así como el costo de las posibles ampliaciones del sistema de Agua Potable Rural, que el proyecto demande.

Es importante evitar sobredimensionar el sistema, por tanto es recomendable solicitar un programa de inversiones que idealmente considere etapas constructivas, para un periodo de provisión de 15 años. Las etapas sólo deben referirse a las obras, debiendo considerarse la adquisición del terreno en el inicio y en su totalidad.

Al igual que en el caso de los proyectos de agua potable rural, aquellos proyectos de alcantarillado postulados para localidades relativamente grandes (sobre 300 arranques), que se encuentren dentro del límite urbano, pero fuera del área de concesión, o dentro de la zona de expansión urbana, es posible que las redes sean diseñadas de acuerdo a la Norma urbana, en cuanto a diámetro de tuberías, cámaras de inspección, etc.

Se debe solicitar además el análisis del impacto del proyecto sobre el sistema de agua potable. Cuando el proyecto en estudio demande un mejoramiento del sistema de agua potable, se deberá indicar su oportunidad de ejecución y el costo estimado. Este costo se debe incorporar como costo adicional del proyecto.

Otros antecedentes que deben ser solicitados en las bases del estudio del diseño son: Análisis y Resumen de las Bases de Cálculo adoptadas, Programa de Etapas de Construcción, Presupuesto para las obras proyectadas, Planos, Evaluación económica y Aprobación ambiental si corresponde.

- 9.- Aprobación de los Términos de Referencia por parte del Servicio de Salud correspondiente según se establece en [Código Sanitario \(art. N° 71\)](#).

Anexo C: Fotografías plantas de tratamiento visitadas



Figura C.1: Sedimentador Secundario Punta Azul



Figura C.2 : Probeta para análisis de volumen de lodo sedimentado



Figura C.3: Sistema de rejas planta de tratamiento Gualliguaica



Figura: C.4: Cancha de secado planta de tratamiento Gualliguaica



Figura C.5: Cancha de secado Caleta de Hornos



Figura C.6: Aguas servidas en el estanque planta de tratamiento Chorombo



Figura C.7: Sistema de rejas gruesas planta de tratamiento María Pinto



Figura C.8: Sistema de rejas rotatorio planta de tratamiento María Pinto

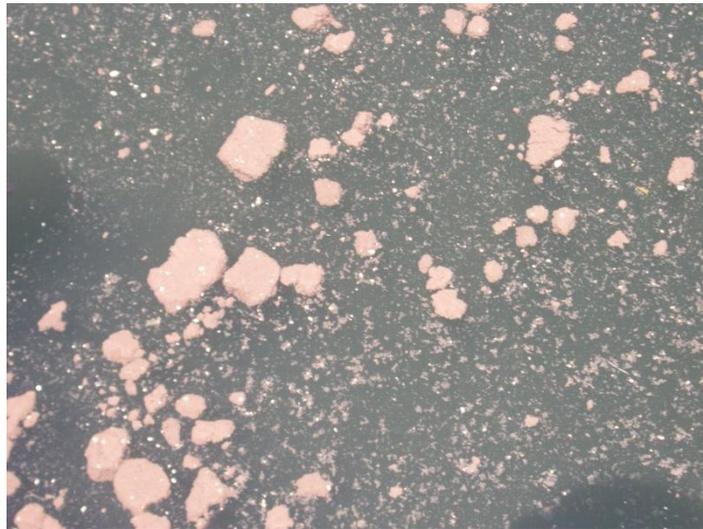


Figura C.9: Flóculos en clarificador planta de Larmahue



Figura C.10: Filtro de Prensa planta de tratamiento Larmahue



Figura C.11: Cancha de Secado planta de tratamiento Larmahue



Figura C.12: Sistema de rejas planta de tratamiento Patagua Cerro



Figura C.13: Clarificador planta de tratamiento Patagua Cerro



Figura C.14: Aplicación cloro planta de tratamiento Punta de Cortés



Figura C.15: Sistema de rejas planta de tratamiento La Estrella

Anexo D: Actas Sanitarias e Informes Análisis bacteriológicos



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE SALUD
SEREMI DE SALUD REGION DE O'HIGGINS

N° 06218

ACTA

En La Estrella a 29 de nov de 20010, siendo las 1500 hrs.,
 el (la) Señor (a) Miguelino Prioudo S. funcionario de la SEREMI de Salud
 Región de O'Higgins, se constituyó en visita al siguiente lugar, PTA 5 La Estrella, donde
 se desarrolla la actividad de Planta tratamiento aguas servidas, ubicada
 en carretera Pedro Goyados, N° S/N. comuna La Estrella,
 propiedad de Cooperativa A.P. La Estrella RUN/RUT N° _____, con
 domicilio en 1° de mayo, N° _____ comuna La Estrella,
 representado legalmente por D. Victor Herrera Coscillo, RUN N° _____,
 domiciliado en 1° de mayo, N° _____ comuna _____,
 teléfono _____.

Motivo de la visita:

Solicitud Fiscalización Verificación Sentencia/Recurso Fiscalización Ley Tabaco
 Solicitud Autorización/Informe Otro motivo de visita

Hecho (s) constatado (s):

- Recuento PTAS, no cumple con los requisitos mínimos para funcionar como planta de tratamiento de aguas servidas, de acuerdo a:
- no cuenta con las autorizaciones sanitarias de Proyecto y Funcionamiento.
- Se constata que existe patología y áreas verdes en pésimo estado de mantención; presencia de fuertes olores; cercos perimetrales en malas condiciones (diseños rotos).
- Se observa que la laguna donde se depositan los aguas servidas del sector en donde se encuentra estacionado; dado la existencia de vegetación superficial y la solificación de residuos, operándose una planta de todo el cuerpo del agua.

Proceso de desinfección
 - el recinto se cubrió totalmente abanicado,
 y en las condiciones de humedad en que se encuentra
 fue ~~conducido~~ ^{conducido} a tener un foco de olores y proliferación
 de vectores -

POR LOS HECHOS ANTES EXPUESTOS, SE PROCEDE A LEVANTAR ACTA, NOTIFICANDO Y ENTREGANDO COPIA
 AD. Unirriam Galve RUN N° 10.757.317-8
 FUNCIÓN O CARGO Operario probatorio A QUIEN SE HACE ENTREGA
 DE FORMULARIO DE DESCARGOS, PARA SER PRESENTADOS DENTRO DEL PLAZO DE 5 DIAS
 HABLES ADMINISTRATIVOS (DE LUNES A VIERNES) CONTADOS DESDE LA FECHA DE LA PRESENTE ACTA, EN LA
 OFICINA Acción Comunal Pochi Run UBICADA EN Pochi Run
 EN HORARIO DE 8:30 - 15:00, JUNTO CON TODOS SUS MEDIOS PROBATORIOS. SE
 TENDRAN POR NO PRESENTADOS LOS DESCARGOS: 1) SI FUEREN ACOMPAÑADOS FUERA DEL PLAZO
 OTORGADO PARA TAL EFECTO, 2) SI NO SE ACOMPAÑA JUNTO A LOS DESCARGOS, ESCRITURA PUBLICA O
 DOCUMENTO PRIVADO SUSCRITO ANTE NOTARIO, EN QUE CONSTE LA REPRESENTACION DE QUIEN
 COMPARECE A NOMBRE DEL SUMARIADO, SEA EN EL CASO DE UNA PERSONA NATURAL O EN CASO DE UNA
 PERSONA JURIDICA.

Leída la presente Acta ratifica y firma

Nombre Funcionario: Abelardo Lirio

Nombre: Rosa Ninim Galve

RUN N°: 7021796-1

RUN N°: 10757317-8

Firma: [Firma]

Firma: [Firma]

Nombre 1° Testigo: _____

Nombre 2° Testigo: _____

RUN N°: _____

RUN N°: _____

Figura D.1: Actas sanitarias planta La Estrella. 2010

Hechos constatados en visita del Seremi de Salud de la región de O'Higgins el día 29 de noviembre de 2010 a la planta de tratamiento de aguas servidas de la localidad de La Estrella:

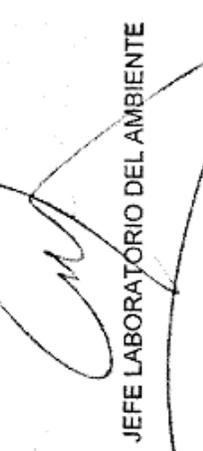
Recinto PTAS no cumple con los requerimientos mínimos para funcionar como planta de tratamiento de aguas servidas en cuanto a:

- No cuenta con las autorizaciones sanitarias de proyectos y funcionamiento
- Se constata que existen pastizales y áreas verdes en pésimo estado de mantención, presencia de fuertes olores, cercos perimetrales en malas condiciones (cerco roto)
- Se observa que la laguna donde se depositan las aguas servidas del sector se encuentra estancada; dado la existencia de vegetación superficial y la solidificación de residuos, generándose una costra en todo el espejo de agua.
- El recinto se encuentra totalmente abandonado y en las condiciones higiénicas en que se encuentra actualmente se generan focos de olores y proliferación de vectores

GOBIERNO DE CHILE
 MINISTERIO DE SALUD
 SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD IV REGION
 DEPTO. DE ACCION SANITARIA
 LABORATORIO DEL AMBIENTE
 ZBV/rgc.

CONTROL BACTERIOLOGICO DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS EL ESFUERZO PLANTA DE TRATAMIENTO LOS VILOS 2009	
PUNTO DE MUESTREO	NMP de coliformes fecales en 100 mL.
PLANTA TRATAMIENTO	< 18

NOTA: LA NORMA CHILENA 1333/78, REQUISITOS BACTERIOLOGICOS DEL AGUA PARA DIFERENTE USOS, ESTABLECE 1000 COLIFORMES FECALES /100 mL, COMO LIMITE MAXIMO PERMITIDO


 JEFE LABORATORIO DEL AMBIENTE

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD IV REGION, AVDA. FCO DE AGUIRRE 785, LA SERENA
 DEPTO. DE ACCION SANITARIA - LABORATORIO DEL AMBIENTE, FON0 333695-333834 - FAX 333837

Figura D.2: Control Bacteriológico Planta El Esfuerzo. 2009



**CONTROL BACTERIOLOGICO DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS EL ESFUERZO
PLANTA DE TRATAMIENTO LOS VILOS 2010**

PUNTO DE MUESTREO	NMP de coliformes fecales en 100 mL.	
	18.06.2010	
EFLUENTE	110	
QUEBRADA	20	

NOTA: LA NORMA CHILENA 1333/78 REQUISITOS BACTERIOLOGICOS DEL AGUA PARA DIFERENTE USOS. ESTABLECE 1000 COLIFORMES FECALES /100 mL, COMO LIMITE MAXIMO PERMITIDO

JEFE
LABORATORIO DEL AMBIENTE

SECRETARIA MINISTERIAL DE SALUD – DEPTO. DE ACCION SANITARIA – LABORATORIO DEL AMBIENTE
 Avda. Francisco de Aguirre N° 795 La Serena
 Fono 051 – 333835 – 051-333834 e-mail franciscof.gonzalez@redsalud.gov.cl

Figura D.3: Control Bacteriológico Planta El Esfuerzo. 2010



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE SALUD

**CONTROL BACTERIOLOGICO AGUAS SERVIDAS TRATADAS
PLANTA DE TRATAMIENTO PUNTA AZUL, VICUÑA**

AÑO 2010

PUNTOS DE MUESTREO	NMP de coliformas fecales en 100 mL	
	17.02.2010	
EFLUENTE	•	2400
150 MT AGUAS ARRIBA CUERPO RECEPTOR		
150 MT AGUAS ABAJO CUERPO RECEPTOR		

NOTA: LA NORMA CHILENA 1533/09 RECALIFICA LOS REQUISITOS BACTERIOLOGICOS DEL AGUA PARA DIFERENTE USO. EL ESTABLECE COMO LIMITE MAXIMO 1000 COLUFI CRINES FECALES/100 mL.

NO CONFORME

[Signature]
FRANCISCO GONZALEZ IN
FRANCISCO
JEFE
LABORATORIO DEL AMBIENTE

SECRETARIA MINISTERIAL DE SALUD - DEPTO. DE ACCION SANITARIA - LABORATORIO DEL AMBIENTE

Avda. Francisco de Aguirre N° 795 La Serena

Fono 051 - 333-835 - 051-333834 e-mail franciscof.gonzalez@redsalud.gov.cl

Figura D.4: Control Bacteriológico Planta Punta Azul. 2010

INFORME DE ENSAYO N° 4768

N° de Muestra 4768
 Fecha Emisión Informe 17-03-2010
 Página 1 de 2

IDENTIFICACION DEL CLIENTE

Cliente COOPERATIVA APR PATAGUAS CERRO
 Solicitante GLORIA ALVARADO
 Código de Identificación

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA

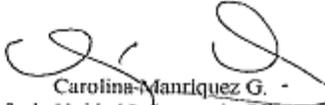
Lugar de Muestreo Cooperativa APR Pataguas Cerro
 Tipo de Muestra Agua Residual
 Dirección de Muestreo Callejon Puchano s/n Pichidegua
 Punto de Control Afluente Planta Tratamiento Aguas Servidas

DATOS DE MUESTREO

Responsable Recolección Laboratorio
 Tipo de Muestreo Compuesta
 Fecha Inicio Muestreo 15-02-2010 Fecha Fin Muestreo 16-02-2010
 Hora Inicio Muestreo 09:44 Hora Fin Muestreo 08:44

RESULTADOS DE ANALISIS

Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido	Métodos de Ensayo	Horas Envase	Fecha Análisis
Físico-Químicos					
DBO5(A)	mg/L	215	NCh2513/05.O2005	33,0	17-02-2010
DQO(A)	mg/L	500	NCh2313/24.O197	35,0	17-02-2010
Fósforo Total(C)	mg/L	11,7	NCh2313/15.O197	145,0	22-02-2010
Nitrógeno Amomonal(C)	mg/L	13,87	NCh2313/16.O197	29,0	17-02-2010
Nitrógeno Kjeldahl(C)	mg/L	50,37	NCh2313/28.O198	47,0	18-02-2010
Sólidos Suspendedos Totales(A)	mg/L	235	NCh2313/05.O195	6,0	16-02-2010
Sólidos suspendidos volátiles(A)	mg/L	169	NCh2313/05.O195	6,0	16-02-2010


 Carolina Manriquez G. -
 Jefe de Unidad Laboratorio O'higgins
 ESSBIO S.A.

Laboratorio O'higgins, ESSBIO, Avda. José María Escobedo Bataguan s/n, Sector Los Nogales, Machali Rencagua. Fonos: (56) 72-28041921 Fax: (56) 72-282423

Figura D.5: Control afluente planta Patagua Cerro

INFORME DE ENSAYO N° 4769

N° de Muestra 4769
 Fecha Emisión Informe 17-03-2010
 Página 1 de 2

IDENTIFICACION DEL CLIENTE

Cliente COOPERATIVA APR PATAGUAS CERRO
 Solicitante GLORIA ALVARADO
 Código de Identificación

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA

Lugar de Muestreo Cooperativa APR Pataguas Cerro
 Tipo de Muestra Agua Residual
 Dirección de Muestreo Callejon Pachano s/n Pichidegua
 Punto de Control Efluente Planta Tratamiento Agua Servida

DATOS DE MUESTREO

Responsable Recolección Laboratorio
 Tipo de Muestreo Compuesta
 Fecha Inicio Muestreo 15-02-2010 Fecha Fin Muestreo 16-02-2010
 Hora Inicio Muestreo 10:45 Hora Fin Muestreo 09:45

RESULTADOS DE ANALISIS

Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido	D.S.90 ¹	Métodos de Ensayo	Horas Envase	Fecha Análisis
Físico-Químicos						
DBO5(A)	mg/L	97	35	NCh2313/05.O/2005	22,0	17-02-2010
DQO(A)	mg/L	289		NCh2313/24.O/97	22,0	17-02-2010
Fósforo Total(C)	mg/L	10,2	10	NCh2313/15.O/97	144,0	22-02-2010
Nitrógeno Kjeldahl(C)	mg/L	43,74	50	NCh2313/28.O/98	46,0	18-02-2010
Sólidos Suspensidos Totales(A)	mg/L	99	80	NCh2313/03.O/95	5,0	16-02-2010

¹ D.S.90 Tabla N° 1 Cuerpos de Agua Fluviales


 Carolina Manríquez G.
 Jefe de Unidad Laboratorio O'higgins
 ESSBIO S.A.

Figura D.6: Muestreo efluente planta Patagua Cerro

INFORME DE ENSAYO N° 4751

N° de Muestra 4751
 Fecha Emisión Informe 17-03-2010
 Página 1 de 2

IDENTIFICACION DEL CLIENTE

Cliente COOPERATIVA APR PATAGUAS CERRO
 Solicitante GLORIA ALVARADO
 Código de Identificación

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA

Lugar de Muestreo Cooperativa APR Pataguas Cerro
 Tipo de Muestra Agua Residual
 Dirección de Muestreo Callejon Pachano s/n Pichidegua
 Punto de Control Efluente Planta Tratamiento Agua Servida

DATOS DE MUESTREO

Responsable Recolección Laboratorio
 Tipo de Muestreo Puntual
 Fecha Inicio Muestreo 16-02-2010
 Hora Inicio Muestreo 10:40

RESULTADOS DE ANALISIS

Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido	Métodos de Ensayo	Horas Envase	Fecha Análisis
Bacteriológicos					
Coliformes fecales(G)	NMP / 100 ml	>1,00 e+5	NCh2513/23,0195	4,0	16-02-2010

Figura D.7: Muestreo bacteriológico efluente planta Patagua Cerro



Laboratorio de Aguas ESSMEL

Análisis de Muestras

Programa: Control de Calidad Aguas Servidas Fecha: 01-12-2010

Cliente: I. Municipalidad de Nogales. UAP El Melón

Toma de Muestras

M1	Entrada Est.Reg. Biofiltro
M2	Salida Biofiltro

Parámetros Físico-Químicos

Parámetros	Unidad	Expresión	Rango	Valor	
				M1	M2
Temperatura	°C	Tª	35	25	24
pH	U.	pH	6,0 - 8,5	8,09	7,99
Conductividad	umho/cm	CE	---	1506	999
Color Verdadero	U. Pt-Co	UPC	---	520	77
Turbidez	NTU	NTU	100	140	11
Sólidos Suspendidos	mg/L	SST	75	107,3	8,237
Oxígeno Disuelto	mg/L	O ₂	-	1,74	9,67
Cloro Libre	mg/L	Cl ₂	0,2 - 2	0	1
Cloruro	mg/L	CL-	400	27,5	6,54
Fluoruro	mg/L	F-	1,5	0	0,69
Nitritos	mg/L	N	-	0,124	0,003
Nitratos	mg/L	N	-	3	23
Nitrogeno Total	mg/L	N	-	59	33
Nitrogeno Total Kjeldal	mg/L	NTK	50	55,88	9,997
Sulfatos	mg/L	SO ₄ -2	1000	220	190
Sulfuros	ug/L	S ₂ -	1000	7,55	9
Fosfatos	mg/L	P	10	1,69	1,29
DQO	mg/L COD	COD	-	303	49
DBO5	mg O ₂ /L	DBO5	35	197	31,85

Parámetros Microbiológicos

Parámetros	Unidad	Expresión	Rango	Valor	
				M1	M2
Coliformes Totales	CFU/100ml.	CT/100ml.	<1000	<1000	<1000
Coliformes Fecales	CFU/100ml.	E.Coli/100ml.	<1000	<1000	<1000

Alexander Rubilar .
Técnico Laboratorio Químico
Jefe Laboratorio ESSMEL .

Figura D.8: Resultado Efluente planta El Melón

Anexo E: Detalles análisis económico

Tabla F.1: Presupuesto Humedal más pretratamiento

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P unitario (UF)	Total (UF)
I	OBRAS PREVIAS				
1.1	Limpieza preliminar terreno	m2	6.000,00	0,01	60,00
II	TRATAMIENTO PRELIMINAR				
2.1	Sistema de rejas	gl	-	4,18	4,18
III	TRATAMIENTO PRIMARIO				
3.1	Tanque Imhoff				
3.1.1	Movimiento de tierras				
3.1.1.1	Excavación 0-2 m suelo tipo III	m3	32,00	0,19	6,08
3.1.1.2	Excavación 2-4 m suelo tipo III	m3	32,00	0,25	8,00
3.1.1.3	Excavación 4-6 m suelo tipo III	m3	32,00	0,32	10,24
3.1.1.4	Emplantillado H-5	m3	2,10	2,43	5,10
3.1.1.5	Hormigón H-30	m3	17,70	4,13	73,10
3.2	Cancha de secado				
3.2.1	Suministro Grava 1,5-50 mm	m3	0,60	1,2	0,72
3.2.2	Suministro Arena 0,3-2 mm	m3	0,60	1,5	0,90
3.2.3	Hormigón H-10	m3	0,42	2,92	1,23
3.2.4	Bomba de impulsión a cancha de secado	un	1,00	22,37	22,37
IV	TRATAMIENTO SECUNDARIO				
4.1	Movimiento de tierras				
4.1.1	Excavación 0-2 m suelo tipo III	m3	5.000,00	0,19	950,00
4.1.2	Relleno	m3	405,94	0,12	48,71
4.1.3	Retiro excedentes	m3	5.512,87	0,11	606,42
4.2	Obras Civiles				
4.2.1	Geotextil impermeabilización	m2	5.000,00	0,02	100,00
4.2.2	Hormigón H-5 pendiente fondo	m3	437,50	2,43	1.063,13
4.3	Relleno lechos				
4.3.1	Suministro arena 0,3-2 mm	m3	1.000,00	1,5	1.500,00
4.3.2	Suministro grava 6-8 mm	m3	57,14	1	57,14
4.4	Suministro planta				
4.4.1	Suministro <i>Cyperus alternifolius</i>	un	400,00	0,1	36,76
4.5	Suministro tuberías y bombas				
4.5.1	Colocación y Prueba Tubería PVC clase 10, D=75 mm	m	142,86	0,02	2,86
TOTAL					4556,9

Fuente: Elaboración propia

Tabla F.2: Valores de referencia de costos de inversión lombricultura

N° habitantes	Valores referencia	
	[U.F.]	
100	556,1	667,3
1.000	2.502,3	2.780,4
10.000	22.243,0	23.355,1

Fuente: Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2010

Nota: Los valores de inversión de las Tablas F.1 y F.2 no incluyen el valor del terreno, llegada y disposición del afluente, empalme eléctrico ni servidumbre.

Tabla F.3: Flujo de caja Humedal más pretratamiento

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ 102.930.967,63										
Operación y Mantenimiento		\$ 3.016.740,00	\$ 3.288.246,60	\$ 3.584.188,79	\$ 3.906.765,79	\$ 4.258.374,71	\$ 4.641.628,43	\$ 5.059.374,99	\$ 5.514.718,74	\$ 6.011.043,42	\$ 6.552.037,33
suma	\$ 102.930.967,63	\$ 3.016.740,00	\$ 3.288.246,60	\$ 3.584.188,79	\$ 3.906.765,79	\$ 4.258.374,71	\$ 4.641.628,43	\$ 5.059.374,99	\$ 5.514.718,74	\$ 6.011.043,42	\$ 6.552.037,33
tasa	10%										
VAC	\$ 149.989.028,35										
CAE	\$ 17.617.654,99										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Inversión	\$ 20.586.193,53					\$ 20.586.193,53					
Operación y Mantenimiento	\$ 7.141.720,69	\$ 7.784.475,55	\$ 8.485.078,35	\$ 9.248.735,41	\$ 10.081.121,59	\$ 10.988.422,54	\$ 11.977.380,56	\$ 13.055.344,81	\$ 14.230.325,85	\$ 15.511.055,17	
suma	\$ 27.727.914,22	\$ 7.784.475,55	\$ 8.485.078,35	\$ 9.248.735,41	\$ 10.081.121,59	\$ 31.574.616,06	\$ 11.977.380,56	\$ 13.055.344,81	\$ 14.230.325,85	\$ 15.511.055,17	

Tabla F.4: Flujo de caja Lombrifiltro

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ 63.272.194,00						\$ 6.327.219,40				
Operación y Mantenimiento		\$ 4.767.500,00	\$ 5.196.575,00	\$ 5.664.266,75	\$ 6.174.050,76	\$ 6.729.715,33	\$ 7.335.389,70	\$ 7.995.574,78	\$ 8.715.176,51	\$ 9.499.542,39	\$ 10.354.501,21
suma	\$ 63.272.194,00	\$ 4.767.500,00	\$ 5.196.575,00	\$ 5.664.266,75	\$ 6.174.050,76	\$ 6.729.715,33	\$ 13.662.609,10	\$ 7.995.574,78	\$ 8.715.176,51	\$ 9.499.542,39	\$ 10.354.501,21
tasa	10%										
VAC	\$ 136.388.229,62										
CAE	\$ 16.020.110,28										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Inversión	\$ 6.327.219,40					\$ 6.327.219,40					
Operación y Mantenimiento	\$ 11.286.406,32	\$ 12.302.182,89	\$ 13.409.379,35	\$ 14.616.223,49	\$ 15.931.683,60	\$ 17.365.535,13	\$ 18.928.433,29	\$ 20.631.992,28	\$ 22.488.871,59	\$ 24.512.870,03	
suma	\$ 17.613.625,72	\$ 12.302.182,89	\$ 13.409.379,35	\$ 14.616.223,49	\$ 15.931.683,60	\$ 23.692.754,53	\$ 18.928.433,29	\$ 20.631.992,28	\$ 22.488.871,59	\$ 24.512.870,03	